Die

Bedeutung der Kieselsäure

als Bestandtheil der Pflanzen

und ihre Beziehung zum Lagern des Getreides.

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Vitold von Swięcicki.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

HALLE a/S.

1898.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548112_0161

Ueber die Kieselsäure in den Pflanzen.

I. Theil.

Geschichtliches.

Die Unentbehrlichkeit und zum Theil auch die physiologische Funktion der sogenannten echten Nährstoffe der Pflanzen sind durch zahlreiche Analysen und Kulturversuche festgestellt worden; Phosphor und Schwefel bilden danach wie der Stickstoff wichtige Bestandtheile des Protoplasmas,*) der erste spielt besonders bei der Fruchtbildung eine große Rolle, Kali soll bei der Assimilation und bei den Synthesen der Plasmakörper hervorragend betheiligt sein. Magnesia findet sich vornehmlich in Reservebehältern und an den Bildungsheerden, scheint dabei auch, wie das Kali bei den wichtigsten Synthesen mitzuwirken. Als wichtiges Transportmittel für andere Mineralbestandtheile der Asche und als Bindungsmittel für schädliche Nebenprodukte des Stoffwechsels wird der Kalk betrachtet. Das Eisen ist von der größten Bedeutung für die Bildung des Chlorophylls. Die Versuche von Nobbe haben gezeigt, daß auch Chlor den echten Nährstoffen zugezählt werden muß. Nur über die Kieselsäure und deren massenhaftes Vorkommen in einigen Pflanzenfamilien, wie in den Diatomeen, Gramineen, Moreen, Urticaceen und Equisetaceen ist man bis jetzt im Unklaren. Das kommt daher, daß die Kieselsäure im Vergleich mit den anderen Mineralsubstanzen manches eigenartige bietet und daß es bis jetzt noch nicht gelungen ist, Pflanzen in absolut kieselsäurefreier Lösung zu bekommen, da, wie wir es später aus den Sachs'schen und Vogel'schen Versuchen sehen werden, theilweise die Wurzeln, theilweise das Wasser selbst auflösend auf die Wände des Gefäßes wirken. Die Kieselsäure ist fähig, drei verschiedene molekulare Zustände anzunehmen, den eigentlichen gelösten und den geronnenen, aus denen sie langsam in den krystallinischen übergehen kann. In dem geronnenen Zustande ähnelt sie den Colloidsubstanzen: sie ist im Wasser löslich, schwach mit dem Lösungswasser verbunden und kann ihm durch die geringsten Affinitäten entzogen werden, sie scheint auch fähig zu sein, von selbst aus dem gelösten Zustande in den geronnenen überzugehen.

Diese Eigenschaften der Kieselsäure scheinen nach Hugo von Mohl**) die Annahme zuzulassen, daß die Kieselsäure nicht immer in eigentlich festen, sondern in dem colloidalen Zustande zwischen die Zellhautmoleküle eingelagert sei.

Seine gründlichen Untersuchungen ergeben dabei, daß die Verkieselung hauptsächlich an den Blättern und der Rinde hervortritt und sich entweder auf deren ganze Oberfläche

*) Strasburger, Lehrbuch der Botanik, Jena 1894, S. 144.

**) H. von Mohl: „Ueber die Verkieselungen lebender Pflanzenzellen". Botan. Zeitung 1861 Nr. 30.

(Gramineen) erstreckt oder nur die Haare ergreift (Urtica dioica), oder auch um die Basis der Haare fortschreitet, Scheiben bildend, die manchmal auch mit bloßem Auge zu sehen sind (Humulus, Borragineen). Selten erstreckt sie sich auch auf die Mesophyllzellen, oder die Gefäße der Blätter, eine Beziehung aber zwischen Verkieselung der Epidermiszellen und der Gefäße soll nach ihm nicht existiren. Die frühere Meinung, daß die Kieselsäure auf die Wände der Zellen unter der Form von Schuppen, Körnern oder Nadeln abgelagert sei, oder daß sie eine Umhüllung um die Zelle bilde, wurde von H. von Mohl als unrichtig abgewiesen. Nach ihm besteht die Verkieselung gewöhnlich in einer Imprägnation der Zellhäute mit Kieselsäure oder in der Ablagerung von Kieselmasse innerhalb der Zelle oder es findet beides zugleich statt. Diese Imprägnation ergreift entweder die ganze Haut der Zelle oder nur eine ihrer Flächen oder tritt auch örtlich in einem kleinen Theil derselben auf (Scirpus palustris und Scirpus mucronatus); zu solchen örtlichen Verkieselungen gehören auch die der Cystolithenstiele und die den Cystolithen ähnlichen Hervorragungen der Zellwände einiger Borragineen und Compositen.

H. von Mohl betrachtet also den Verkieselungsprozeß als eine sekundäre Einlagerung in eine organische Grundlage, als eine Durchdringung der Zellhaut mit Kieselsäure, hauptsächlich der Cuticula und zwar ihrer äußersten Schicht.

Dieser Zusammenhang der Kieselsäure mit der Zellhaut ist aber so fest, daß wir bei der Verbrennung der organischen Substanz ein Skelett der Zelle bekommen. Die Zellen, indem sie sich verkieseln, hören nicht auf zu leben, obschon er annimmt, daß sie bei ihren Funktionen etwas gestört werden, dabei meint er aber nur die Verkieselung der Häute, denn da, wo Silicium auch im Innern der Zellen in festen Massen sich ablagert, da handelt es sich um andere Prozesse, welche, wie wir weiter sehen werden, Miliarakis*) in seiner Inaugural-Dissertation beschreibt. Nicht übereinstimmend mit den Ergebnissen der Untersuchungen von H. von Mohl waren die von Wilhelm Wicke,**) welcher auch die Frage der Verkieselungen im Anfange der sechziger Jahre zum Gegenstand seiner Untersuchungen machte. Er ist der Meinung, daß nur abgestorbene Zellen verkieseln können, daß die Kieselsäure keine Bedeutung für die Bildung organischer Verbindungen besitzt und daß sie einen mehr mechanischen Nutzen im Pflanzenhaushalte hat. Die Verkieselung der Rinde soll nach ihm den Zweck haben, die letztere vorm Springen beim Gefrieren zu hüten, weil infolge der Verkieselung das Wasser in die Rinde nicht einzudringen vermag. Für die Gramineen nimmt er die vor und nach ihm vielfach gehegte Vermuthung an, daß hier die Kieselsäure den Zweck hat, die Pflanze tragfähiger zu machen.

Einer der ersten, welche die Neigung des Getreides zum Lagern durch Mangel an Kieselsäure zu erklären suchten, war Liebig.***) Er untersuchte die Absorptionswirkung des an organischen Materien armen Thon- oder Kalkboden auf eine Lösung von kieselsaurem Kali und

*) Miliarakis Spyr: „Die Verkieselung lebender Elementarorgane bei den Pflanzen". Würzburg 1884.

**) Wilhelm Wicke: „Ueber das Vorkommen und die physiologische Verwendung der Kieselsäure bei den Dicotyledonen". Botan. Zeitung 1861 Nr. 16 und 1862 Nr. 10.

***) Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikulturchemie und Physiologie. I. Theil. Ernährung der Vegetabilien. 1842.

fand, daß solche Böden dieser Lösung alles Kali und alle Kieselsäure entziehen und sich dadurch von den an organischen Materien (an sogenanntem Humus) reichen Böden unterscheiden, welche der Lösung das Kali auch entziehen, während die Kieselsäure dabei in der Flüssigkeit gelöst zurückbleibt. Diese Thatsachen scheinen nach ihm das Vorherrschen der Halmgewächse, Schilfe und Schachtelhalme, die alle große Mengen von Kieselsäure bedürfen, auf dem sauern Moor- und Wiesenboden zu erklären. Diese Pflanzen verschwinden und machen bekanntlich den besseren Futterpflanzen Platz, sobald dieser Boden gekalkt wird und dadurch die Eigenschaft, der Lösung des kieselsauren Kali auch die Kieselsäure zu entziehen, gewinnt. „Wenn aber der Humus dem Boden die Fähigkeit geben kann, Getreide zu erzeugen, woher kommt es dann, daß in dem humusreichen Boden in vielen Gegenden Brasiliens, daß auch in unserem Klima der Weizen in reiner Holzerde nicht gedeiht, daß der Halm keine Stärke erhält und sich frühzeitig umlegt? Es kommt davon, weil die Festigkeit des Halmes von kieselsaurem Kali herrührt."

Ganz entgegengesetzt sprach sich Pierre*) aus; er analysirte das gelagerte Getreide ohne dabei den Halm von den ihm umgebenden Blättern zu trennen, wie es bei den späteren Analysen gemacht wurde und es schien ihm bewiesen, daß im Allgemeinen unter sonst gleichen Umständen das Getreide, welches die größte Neigung zum Lagern besitzt, dasjenige sei, dessen Halme die größte Menge Kieselsäure enthalten; „müßte man, schreibt er, nicht hieraus schließen, daß die Kieselsäure das Lagern begünstige anstatt es zu verhindern?"

Diese Verschiedenheit der herrschenden damaligen Ansichten über die Bedeutung der Kieselsäure gab dem Dr. Wilhelm Knop**) Veranlassung, noch weitere quantitative Bestimmungen der Kieselsäure in Halmen und Blättern der Gräser anzustellen. Er analysirte die einzelnen Stengelglieder und Blätter von Arundo Phragmites und fand Kieselsäure in 100 g der Trockensubstanz der Glieder und der Blätter von unten nach oben gezählt:

	Stengelglieder.	Blätter.		Stengelglieder.	Blätter.
im I.	2,85	8,74	im VII.	2,35	9,17
„ II.	4,04	9,13	„ VIII.	3,99	9,17
„ III.	4,38	9,13	„ IX.	1,96	9,18
„ IV.	4,00	9,63	„ X.	2,30	10,42
„ V.	4,00	9,63	„ XI.	2,30	10,76
„ VI.	2,15	10,08			

Sich auf diese Analysen stützend, sagt er in seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie „Kreislauf des Stoffes" (Seite 219):

„In den Stengelgliedern nimmt also die Kieselsäure von oben nach unten ab, die älteren Blätter enthalten aber mehr Kieselsäure als die oberen jüngeren. Es liegt auf der Hand, daß eine Substanz, die, wie es hier der Fall ist, in den unteren Blättern mehr als ein Zehntel, in den oberen den zwölften Theil vom Gewicht der Trockensubstanz ausmacht, die Festigkeit der Blätter und Blattscheiden vermehrt. Ich habe daher früher schon darauf hingewiesen, daß die Kieselsäure, wenn sie auch nicht die Widerstandsfähigkeit der Grashalme

*) Pierre: La Silice et la verse des blés; Comp. rendus. Bd. 63 S. 374.

**) Dr. Wilhelm Knop: Kreislauf des Stoffes. Lehrbuch der Agrikulturchemie, Leipzig 1868, S. 219.

bedingt, welche, wie bei allen Pflanzenstämmen, von einer gehörigen Ausbildung der Gefäßbündel abhängt, doch die der Blattscheiden steigern dürfte, deren Stütze die Glieder des Halmes, zur Zeit, wo sie lebhaft aus dem zugehörigen Knoten emporschießen, wesentlich bedürfen." Knop's Versuche bestätigten auch die schon vor ihm von Liebig bemerkte Thatsache, daß die an Kieselsäure armen Pflanzen von Schmarotzern mehr befallen werden und leichter ihnen unterliegen. Der nicht bemerklich hohe Kieselsäuregehalt der Halme und das schon von den vor Knop ausgeführten mikroskopischen Analysen bewiesene Auftreten der Kieselsäure vorzugsweise in den Blattorganen, gab ihm Anlaß, die Kieselsäure nur als eine mittelbare Ursache der Festigkeit des Grashalmes zu betrachten, worüber er sich im Jahre 1860 in den Landwirthschaftlichen Versuchsstationen*) so ausgesprochen hat:

„Schlitzt man zur Zeit des Schossens der Gräser die Blattscheide eines Halmes der Länge nach bis auf den Knoten, auf dem sie steht, auf, so findet man das untere Ende des vorzugsweise gerade wachsenden Halminternodiums da, wo es eben aus einem Knoten austritt, noch ganz weich, weiß, voll von zuckerreichem Safte und so schwach, daß der Halm, wenn man die Blattscheide entfernt, hier umfällt. Die Blattscheide erscheint also für diese Periode als ein nothwendiges mechanisches Instrument, das den Halm stützt. Die Kieselsäure aber, da sie in diesem Organe reichlich vorhanden ist, trägt unzweifelhaft zur Festigkeit der Textur der Blattscheiden bei und erfüllt somit mittelbar den Zweck, dem jungen Halme Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse zu geben. Die wünschenswerthe Widerstandsfähigkeit des Grashalms gegen Lagerung ist zur Zeit, wo der Halm noch stark wächst, eine Eigenschaft der Blattscheide, und somit ist die Aufmerksamkeit auf deren Ausbildung eben so sehr wie auf die des Halmes zu lenken. Diejenigen Halmgewächse, welche eine Blattscheide haben, wie Juncus-Arten, treiben ihre an Kieselsäure armen Halme auch nicht wie die Gräser etagenförmig aus Knoten, sondern ähnlich wie die meisten anderen Gewächse mit der Ausbildung der Holzfaser mehr Schritt haltend, vom Boden aus empor."

Julius Sachs hat sich auch mit der Kieselsäure-Frage eingehend beschäftigt und die Resultate seiner Versuche im Jahre 1862 in der Flora und dann in seiner im Jahre 1865 herausgegebenen Experimentalphysiologie (S. 150) angegeben. Die Schlüsse, zu welchen er schon damals kam, sind folgende:

„Die Kieselsäure, welche nicht nur in den Gräsern und Schachtelhalmen, sondern, wie Wicke und H. von Mohl gezeigt haben, in einer sehr großen Zahl von Pflanzenfamilien einen überwiegenden Bestandtheil der Asche bildet, kann nicht als ein Nährstoff in demselben Sinne wie das Kali, die Phosphorsäure u. s. w. betrachtet werden. Die Art und Weise ihres Auftretens in den Pflanzen ist eine wesentlich andere; die durch Versuche dargethane Möglichkeit, den Kieselsäuregehalt einer sonst kieselreichen Pflanze auf ein Minimum herabzudrücken, ohne daß die Stoffbildung im Uebrigen merklich beeinträchtigt wird, die Neigung der Kieselsäure, sich in der Substanz der Zellhäute in denjenigen Gewebeschichten, welche dem Stoffwechsel fern stehen, abzulagern, ihre geringe Menge in den jungen, mit Zellbildung und raschem Wachsthum beschäftigten Organen, ihre große Zunahme in den älteren Theilen u. a.

*) Knop: Versuchsstationen. 1860. II. Notiz über die Bedeutung der Kieselsäure für die Gramineen.

berechtigt zu dem Schlusse, daß sie bei dem chemischen Prozeß der Assimilation, bei der Bildung organischer Substanz aus unorganischem Material nicht in der Weise betheiligt ist wie die echten Nährstoffe, das Kali, die Magnesia, der Kalk, die Phosphorsäure, vielmehr scheint es, daß die Kieselsäure an und für sich oder als kieselsaures Salz von der Pflanze unmittelbar nach Art eines assimilirten Bildungsstoffes benutzt, daß sie, ohne sich weiter am chemischen Prozeß in den Geweben zu betheiligen, in die Substanz der Zellhäute eingelagert wird in ganz ähnlicher Weise wie die Zellstoffmoleküle selbst eingelagert werden, daß sie also wie ein fertiger, bildungsfähiger, plastischer Stoff von der Pflanze benutzt wird, ohne daß man sagen könnte, die Pflanze sei absolut an diese Mitwirkung gebunden; sie scheint vielmehr nur als ein begünstigendes Moment sich an der Vollendung des molekularen Baues der Zellhäute zu betheiligen. Diese Anschauungsweise wird unterstützt durch die Betrachtung der molekularen Eigenschaften der Kieselsäure, die in so vielen Punkten mit denen der assimilirten Bildungsstoffe übereinstimmen. Man könnte also sagen, es sind nicht die chemischen Affinitäten der Kieselsäure, wodurch sie sich der Pflanze nützlich macht, sondern ihre molekularen Eigenschaften, ihre Beziehungen zur Löslichkeit, zu den Aggregatzuständen im Allgemeinen, zur Diffusion u. s. w. Daß die Kieselsäure wesentlich den Zweck habe, die Festigkeit der Gewebe (bei Gräsern zumal) zu erhöhen, ist eine aus der Luft gegriffene Ansicht, welche, früher aufgestellt, an Knop ihren letzten Vertheidiger gefunden hat. Daß das Lagern des Getreides auf einem Kieselsäuremangel des Bodens und somit der Pflanze beruhe, ist niemals durch einen auch nur scheinbaren Beweis erhärtet worden; die landwirthschaftliche Praxis hat dies niemals gerechtfertigt und die Ansicht selbst ist nicht im Stande, die Vorkommnisse in dieser Richtung zu erklären; letzteres ist aber möglich sobald man weiß, daß das Lagern des Getreides auf dem theilweisen Vergeilen, der Weichheit, dem Mangel an Elastizität, der zu großen der unteren Halmglieder und ihrer geringen Verholzung beruht, welche Eigenschaften sämmtlich dann eintreten, wenn die Pflanzen zu dicht beisammen stehen und sich gegenseitig stark beschatten, daher erklärt es sich, warum das sogenannte Schröpfen, die Drillkultur und weitläufige Saat dem Uebel entgegenwirken, daher erklärt es sich auch, warum einzeln stehende Getreidepflanzen, die der Kultur entsprungen sind, niemals lagern, ebenso erklärt es sich, warum das Lagern in feuchten Jahren bei schwacher Beleuchtung und üppigerem Wuchern häufiger eintritt, warum eine zu starke Düngung des Bodens es begünstigt, denn diese bewirkt schon in früher Jugend ein üppigeres Wachsthum, wodurch sich die Pflanzen gegenseitig beschatten und an ihren unteren Theilen vergeilen, und dies um so mehr, je dichter sie stehen. Wenn das gelagerte Getreide sich aufrichtet, so sind es nicht die kieselsäurereichen Blattscheiden, welche das Gewicht des überhängenden Halmes wieder emporheben. Wenn in manchen Fällen die Oberhaut der Pflanzentheile durch Verkieselung hart wird, so folgt daraus nicht, daß die Kieselsäure zur Festigkeit nothwendig sei, denn die Pflanze besitzt andere Mittel, um ihre Gewebe hart und elastisch zu machen."

Der Meinung von Wicke und Knop, daß die Kieselsäure zur Festigkeit beitrage und also einen hauptsächlich mechanischen Nutzen bringe, tritt Sachs auch (in der Flora 1865, Nr. 3, 4 und 5) entgegen, indem er sagt: „Wenn andere auf das Bestimmteste behaupten, die Kieselsäure in den Blattscheiden der Gräser trage unzweifelhaft zur Festigkeit der Textur

der Blattscheiden bei und erfülle somit mittelbar den Zweck, dem jungen Halme Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse zu geben, so steht dies in direktem Widerspruch mit H. von Mohl's Angaben, wonach die Kieselsäureeinlagerung keineswegs eine Steifheit der betreffenden Zellen bedingt, es steht ferner im Widerspruch mit der Thatsache, daß viele Pflanzentheile bedeutende Grade von Festigkeit erreichen, ohne merkliche Kieselskelette zu enthalten; es ist ferner im Widerspruch gegen von Mohl's Angabe, daß zuweilen nahe verwandte Pflanzen sich in ihrem Kieselsäuregehalte ganz entgegengesetzt verhalten, ohne äußerlich wahrnehmbare Unterschiede zu zeigen. Feste Skelette könnten dem Gewebe höchstens Steifheit geben, welche im Pflanzenkörper überall vermieden und durch Elasticität der Theile ersetzt ist; dagegen würde gallertartige Kieselsäure, in die Zellhaut eingelagert, weder die Steifheit noch die Elasticität steigern. Wenn die Erwartung, daß die Maispflanze oder andere Kieselpflanzen auch absolut ohne Kieselsäure normal vegetiren können, sich durch fernere Versuche bestätigt, so ist der Beweis geliefert, daß sie keine Beziehung zur Ernährung hat, ein Beweis, der im Grunde doch schon fast streng gegeben ist; denn ein Stoff, der auf den dreißigsten Theil seines Proportionalwerthes hinabsinken kann, ohne die Ernährung zu beeinträchtigen, kann keine wesentliche Rolle bei der Ernährung spielen. Ohne also behaupten zu wollen, daß die in Kieselpflanzen als Kieselskelett eingelagerte Kieselsäure gar keinen Nutzen habe, scheint doch so viel unabweislich, daß dieser Stoff nicht in die Reihe der Nährstoffe gehört, daß seine Gegenwart in der Pflanze die Wechselwirkung der organischen Kräfte weder unterstützt noch beeinträchtigt, daß also die Verkieselung als ein nebenherlaufender Prozeß zu betrachten ist, der zwar von den Verhältnissen in der lebenden Pflanze beeinflußt wird, der aber keinen wesentlichen Einfluß auf die Vegetation ausübt. Vermöge seiner wechselnden Eigenschaften kann dieser Stoff bald als Baumaterial vegetabilischer Zellen nebenbei auftreten, bald als Ausfüllungskern abgestorbener Zellen, bald als Imprägnation todter Zellhäute, bald als verdrängende Substanz derselben, wie dies bei den Verkieselungen fossiler Hölzer vorkommt, wo endlich die organische Substanz der Haut vollständig durch Kieselsäure ersetzt wird. Wenn es sehr überraschend klingen könnte, die Verkieselung lebender Zellen als einen außerhalb des Lebens stehenden Akt zu bezeichnen, so wird dagegen nach den eben genannten Eigenthümlichkeiten der Kieselsäure, vermöge deren sie sich zwischen die mineralischen und organisationsfähigen organischen Stoffe gewissermaßen in die Mitte stellt, die obige Annahme viel von ihrer Schroffheit verlieren."

Dr. Friedrich Georg Kohl suchte in seinem Werke: „Anatomisch-Physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in den Pflanzen" (Marburg 1889), den großen Kieselsäuregehalt der Pflanzen durch ihre Transpirationsenergie zu erklären, indem er (Seite 221) sagt:

„So verschieden die Mengen Kieselsäure auch sind, welche verschiedene Pflanzen in ihrem Körper niederschlagen, der Ort, an dem dieser Stoff hauptsächlich am Ende zur Ruhe kommt, ist im Allgemeinen durch den Gang des Transpirationsprozesses bezeichnet. Individuell ist eine bestimmte Aufnahmefähigkeit der Pflanze; die Vertheilung der festgewordenen Kieselsäure wird beherrscht durch die Transpiration beeinflussende äußere Faktoren; vermindert man die Transpirationsenergie einer Pflanze, so verkleinert man damit auch den Kieselsäure-

gehalt ihrer Asche. Die Kieselsäuremenge in untergetauchten Wasserpflanzen ist minimal; auch bei schwimmenden Pflanzen und solchen, welche in sehr feuchter Atmosphäre vegetiren, bleibt sie eine äußerst geringe, wogegen sie sehr beträchtlich wird in den stark transpirirenden Blattflächen unserer Laub- und Nadelbäume, und einen Maximalwerth erreicht in den Blättern vieler hoch in die Luft steigenden Schling- und Rankenpflanzen, wofür ich als Beispiel nenne Humulus Lupulus, Thumbergia Laurifolia, Combretum argenteum, Aristolochia-Arten. Werden bei einer Pflanze die transpirirenden Blätter unterdrückt, trotzdem aber Kieselsäuremengen durch die Wurzeln zugeführt, so muß diese Substanz in der Stengelepidermis sich wiederfinden, sofern diese die Transpiration vermittelt. Dieser Fall tritt uns in den Equisetum-Arten entgegen. In Früchten, bei welchen durch Wachsausscheidungen, Cuticularisirung der Oberhaut ꝛc. die Transpiration stark gehemmt ist, finden wir trotz der häufigen Gegenwart stark verdickter, sclerenchymatischer Zellen relativ wenig Kieselsäure. Auch wenn durch Ueberzüge irgend welcher Art (Wachs ꝛc.) die Transpiration gewisser Pflanzentheile oder ganzer Pflanzen stark herabgesetzt wird, ist meist Kieselsäure-Armuth trotz des oft hohen Alters der betreffenden Pflanze resp. des Pflanzentheils zu bemerken; ich habe von diesem Gesichtspunkte aus eine große Anzahl Kakteen (Mammillaria, Melocactus-, Echinocactus-, Coreus-, Epiphyllum-, Rhipsalis-, Lepismium-, Opuntia- etc. Species, Crassulaceen [Bryophyllum, Cotyledon-, Escheveria-, Sedum-, Sempervivum-Arten] und ferner fleischige Euphorbien (E. Caputchedusa, E. Canariensis, E. Balsamifera etc.) der Untersuchung auf Kieselsäure unterworfen und übereinstimmend bei allen diesen Gewächsen relativ sehr geringe Mengen dieser Substanz gefunden."

Und weiter auf der Seite 243: „Der Gehalt an Kieselsäure untergetauchter Pflanzen erhebt sich selten über 4—5 % der Reinasche. Ein oft nicht unbeträchtlicher Theil der bei der Analyse von Wasserpflanzen sich ergebenden Kieselsäure rührt, wie ich mich überzeugen konnte, in vielen Fällen von Diatomeen her, welche den Wasserpflanzen äußerlich anhaften, mitunter in solchen Mengen, daß eine zusammenhängende Haut von Kieselschalen übrig bleibt, die man bei mikroskopischer Betrachtung leicht auf ihre wahre Herkunft prüfen kann. Allgemein kann man behaupten, daß die stärkste Anhäufung von Kieselsäure in den Pflanzen statt hat, welche einen sehr intensiven Transpirationsprozeß unterhalten und innerhalb dieser wieder an solchen Stellen, an welchen große Mengen Transpirationswassers zur Verdampfung gelangen. In mehrjährigen Organen steigt der Kieselsäuregehalt mit dem Alter. Hiermit ist nur die Regelmäßigkeit, mit der die Kieselsäure sich innerhalb einer Pflanze zu placiren pflegt, angedeutet; wieviel Kieselsäure von der Pflanze aufgenommen wird, hängt naturgemäß in erster Linie davon ab, wieviel amorphe, durch kohlensaures Kali oder Natron in Wasser löslich zu machende Kieselsäure im Boden vorhanden ist und ferner, von der individuellen Neigung der Pflanze, lösliche Kieselsäure in sich aufzunehmen, welche, wie bereits früher gesagt, bei den sogenannten „Kieselpflanzen" im engeren Sinne am größten ist."

Was die physiologische Rolle der Kieselsäure anbetrifft, so ist Professor Dr. Friedrich Kohl Vertreter der Liebig'schen und Knop'schen Ansicht. Aus dem Grunde die Annahme, daß die Festigkeit der Organe von der Kieselsäure bewirkt wird, wegfallen zu lassen, weil das Lagern des Getreides nicht auf Kieselsäuremangel beruht, sondern auf anderen Erscheinungen

(Mangel an Licht) und weil man scheinbar normale Maispflanzen auch ohne Kieselsäurezufuhr (bei Sachs enthielt die Asche der Maispflanze nur 0,7 % SiO_2) erzielen kann, das wäre nach seinen Worten „das Kind mit dem Bade ausgeschüttet". *) Es kann nach ihm keinem Zweifel unterliegen, daß der Haupteffekt der Membran- und zum Theil auch der Inhalts-Verkieselung ein mechanischer sei: jede Membran wird durch die Kieselsäureeinlagerung bedeutend fester, wie sie es durch Verholzung ꝛc. auch werden kann. „Entkieselte Organe**) sind meist geradezu weich und würden in den weitaus meisten Fällen ihre bestimmten Funktionen ohne Verkieselung nicht erfüllen können (Klimmhaare, Feilhaare)." Nur bei sehr hohem Maße der Verkieselung tritt die Sprödigkeit ein, diese aber hochgradige Verkieselung der Membran, bei der fast alle Cellulose verdrängt ist, findet man relativ selten. Nach besonderen Gründen zu suchen, weshalb die Kieselsäure so häufig und intensiv der Membran eingelagert wird, scheint ihm eine überflüssige Arbeit zu sein, „denn man erhält die Aufklärung über diesen Punkt durch die einfache Ueberlegung, welche von den in die Pflanze aufgenommenen Substanzen zur Einlagerung überhaupt tauglich sein können. Es muß ein in Wasser unlöslicher oder sehr schwer löslicher Stoff sein, der überall im Boden vorhanden ist und von den Pflanzenwurzeln aufgenommen wird. Diese Bedingungen werden nun vom Kalk und der Kieselsäure allein erfüllt, denn weder Strontium, Baryum, Magnesium, Aluminium, noch das Eisen und die übrigen Elemente genügen allen diesen Anforderungen: entweder sind sie relativ selten oder nur in geringeren Mengen im Boden, oder sie sind in den häufig auftretenden Verbindungen im Wasser löslich, oder werden von den Wurzeln nur in minimalen Quantitäten aufgenommen".

Außer dem Einflusse auf die mechanischen Eigenschaften der pflanzlichen Organe schreibt Kohl der Kieselsäure bei dem Ernährungsgeschäft der Pflanze noch einen nicht zu unterschätzenden Dienst zu: sie soll nämlich „Vehikel" für die Alkalien sein, ebenso wie Kalk es für Salpeter-, Schwefel- und Phosphorsäure ist.

Stohmann's Vegetationsversuche (Landwirthschaftliche Versuchsstationen 1864) in wässerigen Lösungen brachten ihn zu der Ueberzeugung, daß es, wie auch Sachs gefunden hat, unmöglich wäre, in Glasgefäßen kieselsäurefreie Pflanzen zu bekommen, da die Wurzeln die Fähigkeit zu besitzen scheinen, einen Theil des Glases zu zersetzen. Dieses Verhalten der Wurzeln bestätigte ihn in seiner Ansicht von der Gleichwerthigkeit der Pflanzennährstoffe und überzeugte ihn, daß die Kieselsäure so lange als Pflanzennährstoff betrachtet werden soll, bis durch die Analysen nachgewiesen wird, daß es vollständig entwickelte Pflanzen giebt, deren Asche frei von Kieselsäure ist.

In diesem selben Jahre machten Dr. F. Rautenberg und Dr. G. Kühn Versuche auch mit kieselsäurefreien Lösungen, und wir erfahren aus den von ihnen in den „Landwirthschaftlichen Versuchsstationen" (1864) veröffentlichten Ergebnissen, daß sie „die Kieselsäure, das Eisen und die Schwefelsäure als wirkliche, also nöthige Nährstoffe betrachten".

Außer diesen umfassenden anatomisch-physiologischen Untersuchungen haben wir

*) Dr. Kohl, Anat.-Physiol. Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in den Pflanzen. Marburg 1889. S. 214.

**) Ebendaselbst.

auch zwei chemische Arbeiten zu erwähnen von A. Ladenburg und von W. Lange, welche die Natur der Kieselsäureverbindungen in den Pflanzen chemisch zu ermitteln versucht haben.

Nach A. Ladenburg*) ist es wahrscheinlich, daß die Kieselsäureverbindungen, welche in der Asche der Pflanzen sich finden oder wenigstens ein Theil dieser Kieselsäure erst durch die Verbrennung siliciumorganischer Verbindungen entstanden war. Zu diesem Schluß kommt er deshalb, weil der heutige Standpunkt der Pflanzenphysiologie einer solchen Hypothese nicht ungünstig sei, denn einerseits habe man keine Erklärung für die Bedeutung der Kieselsäure in den Pflanzen und andererseits sei festgestellt, daß gewisse Pflanzen auch ohne Silicium einer gedeihlichen Entwickelung fähig sind. Diese Thatsachen seien nach Ladenburg erklärlich, sobald das Silicium in den Pflanzen als Vertreter des Kohlenstoffs erscheint. Das Vorkommen von Kieselsäure in lebenden Pflanzen steht mit der obigen Annahme nicht im Widerspruch; dieselbe könnte nach Ladenburg als Zersetzungsprodukt von kohlenstoffhaltigen Siliciumverbindungen aufgefaßt werden. Schwierig freilich scheint die Bildungsweise solcher Körper aus den im Boden vorkommenden Silikaten. Man könnte nach Ladenburg versucht sein, die Pflanze mit einem Apparat zur Reduktion der Kieselsäure auszustatten, wie sie ihn nachgewiesenermaßen für die Reduktion der Kohlensäure besitzen,**) andrerseits könnte man auch nach P. Thenard's Versuchen annehmen, daß der Ackerboden bei einer derartigen Umwandlung thätig wäre. Von diesen Ansichten ausgehend, hat Ladenburg versucht, auch experimentell die vermutheten Siliciumverbindungen in den verkieselten Pflanzen zu finden. Zu dem Zwecke untersuchte er die Asche des gewöhnlichen und schwedischen Filtrirpapiers, aber er gelangte zu keinem für oder gegen seine Meinung sprechenden Resultat; auch hat er kein Resultat bekommen bei der Untersuchung des Equisetum arvense. Einige Thatsachen, die er gefunden, betrachtet Ladenburg selbst nach keiner Seite hin als beweisend und überläßt, wie er sagt, anderen Forschern die weitere Untersuchung.

Glücklicher als Ladenburg war auch W. Lange***) nicht. Er stellte sich besonders zwei Fragen. Erstens sollte an einer Pflanze auf chemischem Wege nachgewiesen werden, welche bestimmte Siliciumverbindung sich im Safte findet, zweitens wollte er untersuchen, von welcher Art die Verbindungen sein müssen, die der Cellulose wohl aller älteren pflanzlichen Gewebe als nicht zu entfernender Aschenbestandtheil eigenthümlich sind. Die Analysen des wässerigen Auszugs des Equisetum hiemale brachten ihn zu dem Schlusse, daß hier Kieselsäure in keiner andern Form, als in der einer sehr verdünnten Kieselsäurehydratlösung enthalten sein könnte, in welcher Form sie auch von vielen Pflanzen aufgenommen wird, „wenn man nicht annehmen will, daß die Lösung der fraglichen Silikate in Säuren (die er hier angewandt hat) eine Zersetzung derselben nicht einschließen würde."

---

*) A. Ladenburg: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. 1872. Bd. 5, S. 568: „Ueber die Natur der in der Pflanze vorkommenden Siliciumverbindungen".

**) Nach A. Grimaldi (Sassari) zersetzen grüne Pflanzentheile die im Wasser gelöste Kieselsäure im Sonnenlichte unter Sauerstoffentwickelung.

***) Lange: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. Bd. 11, A. 1878: „Ueber die Natur der in Pflanzen vorkommenden Siliciumverbindungen".

Was nun die andere Frage anbelangt, die er sich zu lösen vorgenommen hatte, welches nämlich die Aschenbestandtheile sind, welche man von der Cellulose alter pflanzlicher Gewebe nicht entfernen kann, so fand er, daß die Kieselsäure in erster Linie und dann das Eisen ein so zähes Haften an der Cellulose zeige, daß auch nach vollständiger Auflösung derselben in Kupferoxydammoniak diese unorganischen Bestandtheile ganz gleichmäßig vertheilt waren. Deshalb kommt Lange zu der Vermuthung, „daß die Menge von Aschenbestandtheilen in einer so gut wie unlöslichen Form in den Membranen sich vertheilt finden müsse und daß sie beim Lösen derselben in der schleimigen Flüssigkeit suspendirt bleibt und auch beim Filtriren nur spurenweise zurückgehalten wird. Nur wenn wir für die Basen diese unlösliche Form voraussetzen, erklärt es sich, warum sie nicht ausgewaschen werden, wie z. B. das Kupfer. Einer solchen Bedingung genügen aber besonders die schwer zersetzlichen Silikate, deren spurenweise Bildung in den Membranen ich daher annehmen möchte".

Endlich hat Lange auch Diffusions-Versuche mit demselben Equisetensaft angestellt, deren Resultat war, daß dieser Saft ein viel bedeutenderes Diffusionsvermögen hat, als es Graham gefunden. Ob aber dieses Vermögen der Kieselsäure allein oder auch den anderen in saurer Lösung sich befindenden Verbindungen zuzuschreiben ist, überläßt auch er späteren Untersuchungen zu entscheiden.

Ueber die Zweckmäßigkeit der Kieselbildungen in Wasserpflanzen waren die Meinungen nicht weniger getheilt; so behauptet Cario, welcher Tristicha hypnoides Spreng*) chemisch und anatomisch untersucht hatte, daß der Nutzen der Kieselbildungen für diese Pflanze ihm zweifelhaft erscheint, da wir ihnen eine mechanische Bedeutung deshalb kaum zuschreiben können, weil eine Wasserpflanze von so geringer Größe, die außerdem meist an Stellen wächst, wo sie von der Gewalt des Wassers wenig zu leiden hat, keine besonderen Festigungsmittel nöthig hätte, namentlich nicht an dem Thallus, der doch vor Allem kieselreich erscheint. Dagegen ist Warming**) der Meinung, daß die Kieselbildungen, welche in den Podostemaceen sehr zahlreich sind, diese Pflanzen mehr ausdauernd gegen die Gewalt der Wasserströmungen und Wirbel, welchen die Felsen, auf denen sie zu wachsen pflegen, oft ausgesetzt sind, machten.

Arendt'sche***) Aschenanalysen von Hafer zeigen uns die Mengen der Kieselsäure in verschiedenen Theilen und zu verschiedenen Perioden der Vegetation.

Wir führen die Versuchsergebnisse hier an:

Der Hafer wurde in 5 verschiedenen Perioden geerntet, nämlich

I.	Periode	am 10.	Juni.	Die Pflanzen waren 0,31 m hoch.
II.	„	„ 30.	„	Kurz vor dem Ende des Schossens.
III.	„	„ 10.	Juli.	Unmittelbar nach der Blüthe.
IV.	„	„ 21.	„	Beginnende Reife.
V.	„	„ 31.	„	Völlige Reife.

*) Cario: Anatomische Untersuchung von Tristicha hypnoides Spreng. (Bot. Ztg. 1881.)
**) Warming, Etudes sur la Famille des Podostemacées. Copenhague 1881.
***) Landwirthschaftliche Versuchsstationen. 1859. Bd. 1.

	Kieselsäure in % der Trockensubstanz					Kieselsäure in % der Asche				
	Nummer der Periode					Nummer der Periode				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
Drei untere Stengelglieder .	0,26	0,18	0,23	0,21	0,19	5,89	6,72	6,42	4,66	4,10
Zwei mittlere Stengel . . .	?	0,19	0,30	0,40	0,30	?	6,43	6,30	8,00	9,31
Obere Stengel	?	0,21	0,48	1,01	1,31	?	6,04	9,16	18,12	20,73
Untere Blätter	2,32	2,87	3,10	3,43	3,45	23,89	30,20	30,29	33,80	34,02
Obere Blätter	0,88	1,42	2,04	3,82	4,40	11,35	18,72	29,24	39,38	41,86
Aehrchen	?	1,10	1,34	0,79	0,70	?	28,34	36,37	27,49	26,05

Diese Analysen zeigen uns deutlich einen auffallenden Unterschied zwischen Stengeln und Blättern: von jenen sind die Aschen entschieden kieselsäureärmer, als von diesen. Der Maximalgehalt der Stengelaschen beträgt nur 9 %, während die Blätteraschen bis 42 % enthalten. Eine sehr beträchtliche Vermehrung der relativen Kieselsäuremenge zeigt sich in den Oberstengeln nach dem Blühen bis zur Reife. Im Allgemeinen zieht Arendt aus seinen Analysen folgende Schlüsse: „Der prozentische Gehalt an Kieselsäure steigt im Halme von unten nach oben und mit dem Alter, in den Blättern ist er an und für sich beträchtlich höher als im Halme, steigt aber regelmäßig nur mit dem Alter, wogegen er von unten nach oben bis zur Blüthezeit ab-, nach derselben aber zunimmt. Die Asche der Aehrchen hat stets mehr Kieselsäure als die der Stengel, in der zweiten und dritten Periode auch mehr als die der oberen Blätter. Beiläufig sei hier gesagt, daß ein konstantes Verhältniß zwischen Kieselsäure und Holzfaser nicht existirt. Die Tabelle zeigt, daß dasselbe zwischen $1/9$ und $1/238$ schwanken kann. Die Stengel enthalten durchschnittlich mehr Holzfaser und dabei weniger Kieselsäure, wenn also die Kieselsäure die Festigkeit des Halmes bedingt, wie von manchen Seiten behauptet wird, so reichen davon schon sehr geringe Mengen hin."

Das letzte stimmt aber nicht ganz mit den von ihm im Jahre 1860 noch ausgeführten Aschenanalysen derselben Pflanzenspecies bei gleichem Alter aber verschiedener äußerer Entwickelung.*)

Er analysirte a) ganz magere, gelbgrüne (Hafer) Pflanzen, b) fette, kräftige und hellgrüne und c) außerordentlich fette und dunkelgrüne, und jede Art analysirte er in drei verschiedenen Perioden:

I. nach dem Schossen,
II. während der Blüthe,
III. bei beginnender Reife.

Dabei fand er Kieselsäure in der Asche der Pflanzen:

	Erste Periode.	Zweite Periode.
a)	40,6 %	42,1 %
b)	37,6 „	39,9 „
c)	27,1 „	20,7 „

*) Arendt, Landwirthschaftliche Versuchsstationen 1860.

In den Pflanzen von der dritten Periode ergab sich:

Kieselsäure	In den Stengeln	In den Blättern	In den Rispen
In den Pflanzen a)	32,1 %	57,6 %	42,0 %
„ „ „ b)	25,5 „	51,4 „	45,2 „

in % der Asche. Hierzu bemerkt er: „die ganz fetten Pflanzen hatten sich in der dritten Periode schon vollständig gelagert".

Je fetter also und dunkelgrüner die Pflanze aussieht, desto weniger Kieselsäure enthält sie in der Asche und desto mehr ist sie zum Lagern geneigt.

Um Beiträge zu sammeln zur Lösung der Frage, zu welchem Zweck viele Pflanzen, zunächst die körnertragenden Halmfrüchte, unter normalen Wachsthumsverhältnissen eine so große Menge von Kieselsäure aus dem Boden aufnehmen, wurden auch in Hohenheim hauptsächlich in den Jahren 1880 und 1882 verschiedene Versuche in Wasserkultur von Dr. E. Kreuzhage und Prof. E. Wolf ausgeführt und über deren Resultate von dem letzteren in den „landwirthschaftlichen Versuchsstationen" berichtet.*) Zu den Versuchen dienten 3 Nährstofflösungen, in welchen außer der Kieselsäure sonst alles nach Qualität und Quantität völlig gleich war, nämlich: 1. Lösung ohne Kieselsäure, 2. mit wenig und 3. mit viel Kieselsäure. Die Lösungen hatten in den betreffenden Versuchen eine Concentration (incl. Salpetersäure) von $^1/_8$, $^1/_4$ und $^1/_2$ pro Mille, wobei in den Lösungen mit Kieselsäure diese Substanz als Extra-Beigabe zu den übrigen Bestandtheilen hinzukam. Kurz zusammengefaßt sind die Ergebnisse dieser interessanten Versuche folgende:

1. Mit der vermehrten Aufnahme von Kieselsäure durch die Pflanzen ist die Ausbildung der Körner bei jeder Concentration (von $^1/_8$ bis $^1/_2$) immer vollkommener geworden.

2. Das Gewicht des Strohes und überhaupt das Gesammtgewicht der Pflanze bleibt bei größeren und geringeren Mengen von aufnehmbarer Kieselsäure ungefähr dasselbe, denn dieses Gewicht ist, wie Wolf's Versuche vom Jahre 1882 zeigen, zunächst, wenn auch nicht ausschließlich, durch „die Menge und das gegenseitige Verhältniß der übrigen Bestandtheile, der eigentlichen Nährstoffe bedingt".

3. Unter dem Einfluß der Kieselsäure hat das Gewicht der Wurzeln etwas abgenommen oder ist wie bei $^1/_2$ ‰ Concentration unverändert geblieben.

4. Unter dem Einfluß der Kieselsäure hat die Gesammtmenge der Reinasche nach Prozenten der wasserfreien Substanz stets bedeutend zugenommen.

5. An Kieselsäure fand sich in Prozenten der Reinasche mit dem erhöhten Gehalt der Lösung an dieser Substanz eine regelmäßige Steigerung, nicht aber in dem Grade, wie die Quantität der Kieselsäure in der Lösung stieg.

6. Die Kieselsäure liefert nicht der Pflanze einen Ersatz für andere Bestandtheile, im Gegentheil ist mit der Kieselsäure auch etwas mehr von den fixen Stoffen überhaupt in die Pflanze übergegangen und besser ausgenutzt worden, „es wird aber wohl nur als eine zufällige Erscheinung anzusehen sein".

*) E. Wolf, Landwirthschaftliche Versuchsstationen. 1884. Bd. 30: „Bedeutung der Kieselsäure für die Entwickelung der Haferpflanze".

Den nicht zu unterschätzenden Einfluß, welchen Kieselsäure auf die Körnerbildung zu haben scheint, erklärt Prof. E. Wolf durch ihre indirekte Wirkung, indem ein rechtzeitiges und gleichmäßiges Ausreifen der Pflanze nach der Blüthezeit eine lebhaftere Strömung des Saftes nach den Fruchttheilen hin begünstigt. Die Kieselsäure soll nach ihm keinen bestimmenden Einfluß auf die Bildung der organischen Substanz haben, sie kann auch die Phosphorsäure nicht vertreten, eine Vermuthung, welche Wolf früher gehabt hatte.

Uebereinstimmend mit den früher erwähnten Ergebnissen der Arendt'schen Aschenanalysen von Hafer hatte auch Ludwig Koch*) gefunden, daß die verschiedenen Theile des Halmes nach ihrer größten Menge an Kieselsäure in folgende Ordnung gebracht werden könnten:

1. in erster Linie Blätter,
2. in zweiter Linie und mit sehr großem Unterschiede von den Blättern die Internodien,
3. endlich, in dritter Linie die Knoten, welche die Halme abtheilen.

Die Blätter enthalten 7 oder 8 Mal mehr Kieselsäure, als die Knoten und 4 oder 5 Mal mehr, als die Internodien, dabei macht er also aufmerksam, daß „die Internodien, an deren Festigkeit man das größte Interesse hat, somit die an Kieselsäure ärmeren sind; die Knoten, die bekanntlich die größte Härte zeigen, die befähigt sind, unter Umständen die ganzen Halme wieder aufzurichten, sind an Kieselsäure die ärmsten". Daraus folgt auch (Seite 15), daß „die größere Menge an Kieselsäure bei Getreide, welches zum Lagern disponirt, der stärkeren Entwicklung der Blätter, die nach dem obigen die größte Menge der Kieselsäure besitzen, zu verdanken ist".

Koch glaubt die Ansicht aussprechen zu dürfen, daß bei allzureichem Vorhandensein löslicher Stickstoffverbindungen, wie überhaupt bei günstigen Bedingungen der Pflanzenernährung, die eine üppige Vegetation herbeiführt, das Getreide einen zu dichten Stand bekommt, dann tritt aber intensive Beschattung ein, diese aber hat eine bedeutendere Länge der unteren Halmglieder, eine geringere Dicke der zugehörigen Halmwände und Hand in Hand damit auch eine Ueberverlängerung und schwächere Verdickung der bezüglichen Zellen zur Folge. Solche Abnormitäten treten vorzugsweise bei den unteren Halmgliedern auf, welche dann nicht den oberen üppig entwickelten Theilen den nöthigen Halt zu bieten vermögen und können, wie es Ludwig Koch durch seine Versuche gezeigt hat, auch durch künstliche Beschattung hervorgerufen werden. Seit dieser Arbeit von Ludwig Koch ist die Kieselsäurefrage in den Hintergrund getreten und Mangel an Licht und die daraus folgenden Aenderungen der Länge der Zellen und Internodien werden als einzige und genügende Ursache des Lagerns betrachtet. Dabei erschien es dem Professor Nowacki**) aus den zahlreichen von ihm gemachten Längenmessungen ein Gesetz, nach welchem an dem normalen oder idealen Roggenhalme die Länge und das Gewicht pro Längeneinheit eines jeden Gliedes das Mittel aus den Längen und den Gewichten der beiden Nachbarglieder sein sollten. Diese Arbeiten von Prof. Nowacki veranlaßten auch andere Forscher die Geltung des „Nowacki'schen Gesetzes" zu prüfen; hauptsächlich war es der Professor Liebscher***), welcher der Aufstellung eines

*) Ludwig Koch, „Abnorme Aenderungen der Pflanzenorgane durch Beschattung."
**) Nowacki: Journal für Landwirthschaft. 1893. Bd. 41.
***) Liebscher: Journal für Landwirthschaft. 1893. Bd. 41.

Gesetzes in dem Sinne, wie es Prof. Nowacki meint, ganz entschieden entgegentritt, er behauptet, daß sich nur ausnahmsweise eine Annäherung an diese Gesetzmäßigkeit finden läßt, und daß auch bei den Längenmessungen, auf welche Prof Nowacki sein Gesetz gebaut hatte, nur ein Roggenhalm sich befinde, welcher dem Gesetze entspreche, alle anderen Zahlenreihen seien Mittel aus wenigen Halmen, welche zufällig eine diesem entsprechende Mittelzahl lieferten. Prof. Liebscher's Untersuchungen veranlassen ihn zu behaupten, daß der Halm um so werthvoller sein wird, je geringere Prozentsätze der Gesammtlänge auf die unteren Internodien entfallen; je kürzer und dicker dieselben sind, desto mehr Tragkraft hat der Halm. Es sei hier auch kurz die Arbeit von Miliarakis erwähnt*), welchem es gelungen ist, die Frage zu lösen, ob die schon verkieselten Zellen auch wachsthumsfähig sind.

Als Beobachtungsobjekte wählte er die Haare von Deutzia scabra, Morus rubra, Urtica dioica, Ficus carica, Humulus u. a., dabei gelang ihm festzustellen, daß die Haare schon vor der Verkieselung ihrer Wände ihre vollste Entwicklung erlangt haben und daß dann das Wachsen aufhört. Zur Unterstützung dieser Behauptung beobachtete Miliarakis, daß in keinem Falle bei den ersten jungen Blättern oder deren Hälften verkieselte Epidermis- oder Parenchymzellen zu finden wären, und daß auch ein örtlicher Stillstand in dem Wachsthum der Blätter oder der Rinde eine Verkieselung hervorrufen könne. Die Entscheidung dieser Frage hat die Richtigkeit der Ansicht von Wicke und Sachs, daß nur die ausgewachsenen Zellen sich verkieseln, entgegen der von v. Mohl bewiesen.

II. Theil.

Der jetzige Standpunkt.

Vorstehend wurde in gedrängter Uebersicht über die wichtigsten Arbeiten über die Bedeutung der Kieselsäure im Pflanzenreiche berichtet. Dabei tritt nun klar hervor, daß verschiedene Ansichten verschiedenes Licht auf dieselben Versuchsergebnisse werfen, ein Mangel an positiven Resultaten herrscht, und nur Hypothesen und Vermuthungen, deren Geltung bis jetzt durch Thatsachen und genaue Untersuchungen noch nicht festgestellt ist, existiren. Die Kieselsäure scheint einigen bloß als eine sekundäre Einlagerung in eine organische Grundlage, als eine Imprägnation der Zellhaut (v. Mohl), nach anderen scheint sie sich als ein begünstigendes Moment an der Vollendung des molekularen Baues der Zellhäute zu betheiligen (Sachs), und noch andere (A. Ladenburg) betrachten sie als Vertreter des Kohlenstoffes in den kohlenstoffhaltigen Silicium-Verbindungen; Lange dagegen scheint überzeugt zu sein, daß die Kieselsäure in den Pflanzen in keiner anderen Form, als in der einer sehr verdünnten Kieselsäurehydratlösung enthalten sein könne. Dr. Georg Friedrich Kohl fand einen Zusammenhang zwischen Transpiration und Kieselsäuregehalt und vermuthet, daß der oft in den Wasserpflanzen durch die Analysen festgestellte hohe Gehalt an Kieselsäure von den daranhaftenden kieselsäurereichen Diatomeen herrührt, Warming sieht dagegen in dem großen Kieselsäuregehalt der Podostemaceen eine zweckmäßige Einrichtung, um ihnen größere Widerstandsfähigkeit gegen die Wasserströmungen zu ertheilen,

*) Miliarakis: „Die Verkieselung lebender Elementarorgane in den Pflanzen". Würzburg 1884.

und Grimaldi konstatirt die Zersetzung der im Wasser löslichen Kieselsäure durch grüne Pflanzentheile beim Sonnenlichte unter Sauerstoffentwicklung. Den mechanischen Nutzen der Kieselsäure erkennen an: Wicke, Knop und Kohl, dagegen nennt Sachs diese Ansicht „aus der Luft gegriffen".

H. von Mohl behauptet, daß die Zellen, indem sie sich verkieseln, nicht aufhören zu leben, Wieke dagegen und Miliarakis scheinen aus ihren Untersuchungen schließen zu dürfen, daß nur die ausgewachsenen Zellen sich verkieseln.

Die Fragen über die Existenz und Natur spezieller Siliciumverbindungen in den Pflanzen den Chemikern überlassend und die Frage über das Wachsen und Nichtwachsen verkieselter Organe als genügend von Miliarakis bewiesen betrachtend, unternahm ich, durch die Prüfung der kieselsäurearmen und -reichen Strohhalme auf ihre physikalische Widerstandsfähigkeit den mechanischen Nutzen der Kieselsäure in den Gramineen genauer, als es bis jetzt gethan wurde, zu untersuchen. Als Material sollte in Wasserkulturen mit verschiedenem Kieselsäuregehalt kultivirter Hafer und außerdem Getreide vom Versuchsfelde des Hallischen landwirthschaftlichen Universitäts-Institutes dienen.

Die Wasserkulturversuche haben zwar nicht zu dem gewünschten Resultate geführt, doch glaube ich, bevor ich zum Haupttheile meiner Arbeit übergehe, einige dabei gemachte Beobachtungen und Erfahrungen nicht unerwähnt lassen zu dürfen, weil sie vielleicht geeignet sind, theils auf die Kieselsäurefrage ein neues Licht zu werfen, theils die Ansichten einiger oben erwähnter Forscher zu bestätigen.

Die Wasserkulturversuche.

Zu diesen Versuchen benutzte ich Glas- und Zinkgefäße von 8 Liter Inhalt und mit Glas- und Zinkdeckeln versehen. Jeder Deckel hatte 16 Löcher zum Einsetzen von 16 Pflanzen, welche mit Watte befestigt wurden, und ein Loch zum Messen des Flüssigkeitsstandes und zum Ergänzen des Wassers, welches die Pflanzen verdunstet hatten. Zur Kultur wurde der Anderbecker Hafer genommen und zwar die Saat vom Versuchsfelde des landwirthschaftlichen Instituts der hiesigen Universität. Die Körner wogen lufttrocken im Durchschnitt 0,0411 g, wovon auf die Schale 0,0103 g kam. Wir können also annehmen, daß das Gewicht des Mehlkörpers annähernd $^3/_4$ und dasjenige der Samenschale $^1/_4$ des Gewichtes des ganzen Kornes ausmachte.

Der Aschen- und Kieselsäuregehalt dieses Anderbecker Hafers war:

	Asche in % der Trockensubstanz	SiO_2	
		in % der Trockensubstanz	in % der Asche
Im ganzen Korne	3,08	1,33	42,61
In den entspelzten Körnern	2,60	0,26	12,53
In den Spelzen	5,73	4,26	74,34

Da wir das Verhältniß der Gewichte des Mehlkörpers und der Schale und auch den Aschen- und Kieselsäuregehalt in Prozent ihres Gewichtes kennen, so läßt sich leicht ausrechnen, wieviel Asche und Kieselsäure ein Korn, welches im Durchschnitt (von 100 Körnern) 0,0411 g wiegt, enthält, und wie groß sich der Aschen- und Kieselsäuregehalt seines Mehlkörpers und seiner Schale stellt.

Nach den obigen Analysen enthält also jedes Korn im Durchschnitt:

	Asche g	SiO_2 in % der Trockensubstanz g
In den entspelzten Körnern . .	0,00080	0,00008
In den Spelzen	0,00058	0,00043
Im ganzen Korn	0,00128	0,00051

Zu den Versuchen dienten 5 Lösungen mit verschiedenen Kieselsäuremengen (als kieselsaures Natron), aber mit gleichem Gehalt an übrigen Nährstoffen. Die Concentration der Lösung war überall 1 pro Mille, die Kieselsäure aber wurde noch besonders zugegeben und zwar:

In den Glasgefäßen:
In je 2 Töpfen A = 0,00 g
„ „ 2 „ B = 0,01 „
„ „ 2 „ C = 0,10 „
„ „ 2 „ D = 0,20 „
„ „ 2 „ E = 0,40 „
pro Liter Lösung.

In den Zinkgefäßen:
In je 3 Töpfen A = 0,00 g
„ „ 3 „ B = 0,20 „
pro Liter Lösung.

Die übrigen Mineralstoffe habe ich in dem Verhältnisse genommen, wie es W. Knop*) als „Normallösung" vielmals zu seinen Versuchen angewandt hatte; nur die Concentration habe ich, mich auf die Versuchsergebnisse von E. Wolf**) stützend, halb so groß, wie es Knop beschrieben hat, genommen. Es enthielt also ein Liter Lösung:

$Mg\,SO_4$ . . . = 0,143 g
$Ca\,(NO_3)^2$ . . . = 0,571 „
$KH_2\,(PO_4)$ . . = 0,143 „
KNO_3 . . . . = 0,143 „
s. f. 1,000 g.

Um den Niederschlag von Gyps, phosphorsaurem Kalk und Eisen zu vermeiden, gab ich nach der Knop'schen Ausrechnung noch die Hälfte der Phosphorsäuremenge, welche in dem in der Lösung enthaltenen Quantum Kaliphosphat vorhanden war, zu, was für meine Lösung 0,037 g Phosphorsäure pro Liter ausmachte. Auf einzelne Bestandtheile berechnet fand sich also in einem Liter Lösung:

*) Knop: Bereitung einer concentrirten Nährstofflösung für Pflanzen. Landw. Versuchsstation. Bd. 30. 1885. S. 292.

**) E. Wolf: Bedeutung der Kieselsäure für die Entwickelung der Haferpflanze nach Versuchen in Wasserkultur. Landw. Versuchsstation. 1885. Bd. 30. S. 161.

0,0188	g	basisches Wasser	0,0745	g	gebundene Phosphorsäure
0,1160	„	Kali	0,0953	„	Schwefelsäure
0,1952	„	Kalk	0,4526	„	Salpetersäure
0,0476	„	Talkerde	Se. 0,6224	g	gebundene Säuren.
Se. 0,3776	g	Basen.			

Also: Basen : . . . . 0,3776 g
Gebundene Säuren. 0,6224 „
Se. 1,0000 g pro Liter.

Hierzu wurde die Kieselsäure in den oben angegebenen Mengen, 0,625 ccm einer 1% Eisenvitriollösung (nach E. Wolf) und 0,037 gr Phosphorsäure pro Liter zugegeben; die Lösungen wurden alle 2 Wochen erneuert in derselben Zusammensetzung, außer Phosphorsäure und Eisenvitriol, worauf wir noch weiter zu sprechen kommen.

Um ganz kieselsäurefreie Pflanzen (außer der Kieselsäure, welche im Samen der Pflanze zur Verfügung stand) zu bekommen, habe ich, wie schon erwähnt, auch Zinkgefäße benutzt; zwar hatten die Versuche von König*) und von Nobbe, Bäßler und Will**) gezeigt, daß die löslichen Zinksalze auch bei minimalen Quantitäten für die Vegetation nachtheilig wirken, und daß sich schon bei 2 mg Zink pro Liter eine Herabsetzung der Massenproduktion, bei größeren Gaben aber (schon bei 10 mg) auch äußerliche Abnormitäten bemerkbar machen, doch hatten mir die mit den obigen Versuchen nicht völlig übereinstimmenden Versuche von M. Freitag***) („obgleich alle Pflanzen Zink aufnehmen, wenn es ihnen geboten wird, werden sie durch dasselbe in ihrem Wachsthum nicht gestört") den Anlaß gegeben, zu versuchen, ob es nicht gelingen werde, wenn auch nicht ganz normale, doch in der Vegetation so vorgeschrittene Pflanzen zu bekommen, daß man aus vergleichenden Analysen derselben einige Schlüsse auf die Vegetation in kieselsäurefreien und kieselsäurehaltigen Lösungen machen könnte.

Die Haferkörner ließ ich in großen flachen Tellern (für die Glasgefäße in Glastellern, für die Zinkgefäße in Tellern aus Zinn) auf mit destillirtem Wasser befeuchteten Filtrirpapier keimen; nach 10 Tagen wurden die Keimpflanzen in die Wasserkulturgefäße und Lösungen eingesetzt, und zwar so, daß der Stand der Lösung 5 mm niedriger war, als der Deckel und die oberen Theile der schon nach diesen 10 Tagen bis 10 mm lang gewordenen Wurzel und das Korn nicht in die Lösung eintauchten, sondern sich in mit Wasserdampf gesättigter Atmosphäre befanden. (Die Deckel bedeckten die Gefäße luftdicht.) Die Gefäße standen während der ganzen Zeit der Vegetation in einem kleinen Gewächshause des landwirthschaftlichen Instituts. Um die Luft möglichst normal zu halten, wurden bei schönem Wetter die Fenster stets geöffnet und um die bei den in Gewächshäusern gemachten Wasserkulturen immer von Knop, Rautenberg und G. Kühn, Stohmann, Wolf und anderen

*) König: Verunreinigung der Gewässer. Berlin 1887.

**) Nobbe, Bäßler und Will: Untersuchungen über die Giftwirkung d. Arsen, Blei und Zinn im pflanzlichen Organismus. Landw. Versuchsstation. 1885. Bd. 30. S. 381.

***) M. Freitag: Dinglers Polytech. Journal. 1873. Bd. 208. S. 235 und von demselben: „Ueber den Einfluß des Zinnoxyds und seiner Verbindungen auf die Vegetation". Mittheilungen der Königl. landw. Akademie Poppelsdorf I. 1868. S. 95 und 96.

konstatirte starke Transpiration und infolgedessen auch einen sehr großen Aschengehalt der Pflanzen zu vermeiden, hielt ich den Boden des Gewächshauses immer naß und bespritzte früh und Abends die Pflanzen mit destillirtem Wasser. Die ersten 2—3 Wochen entwickelten sich die Pflanzen ganz gleich und normal, aber schon den 20. Tag bemerkte ich ein Gelbwerden der Blattspitzen bei den Pflanzen, welche in den Zinkgefäßen wuchsen; dieses krankhafte Aussehen nahm seitdem mit jedem Tage zu und war nur bei den Pflanzen in den Zinkgefäßen zu konstatiren; in den Glasgefäßen hatten die Pflanzen eine normale grüne Farbe, das Gelbwerden war also nur durch das Zink verursacht. Zuerst hatte ich die Vermuthung, daß hier die schwach sauer-reagirende Nährstofflösung auf die Wände des Gefäßes auflösend wirkte und daß dabei das Zink an die Stelle des Eisens in die Lösung trete und dieses für die Pflanzen unzugänglich machte; wir hätten es hier also mit einer Chlorose zu thun gehabt; da aber auch beim Zugießen größerer Mengen Eisenvitriol (jede Paar Tage) keine Verbesserung eintrat, sondern, im Gegentheil, die Pflanzen immer weißgelber wurden, schloß ich, daß hier die schädliche Wirkung des Zinks sich direkt geltend machte; allerdings waren die Krankheitserscheinungen ganz analog denen, welche auch Nobbe, Bäßler und Will in den oben erwähnten Versuchen mit durch Zink vergifteten Pflanzen konstatirt hatten: die Spitzen der jüngsten Blätter waren fahl-weißlich-gelb gefärbt, die älteren besaßen eine gelbgrüne Farbe; auf ihrer Fläche zeigten sich mehr und mehr rostbraune Flecken, bei zwei Pflanzen bemerkte ich eine eigenthümliche, auch von Nobbe beschriebene Krümmung der Internodien, die ganze Pflanze hatte sich um ihre Achse vielmal gedreht. Das Bestreichen der Innenwände mit Lack half auch nicht viel.*)

In den Glasgefäßen hatten die Blätter wohl eine normale Farbe, die Pflanze entwickelte sich aber nicht sehr üppig, die unteren Blätter trockneten ab, die Halme waren dünn und die Wurzeln verzweigten sich fast gar nicht. Als Ursachen einer so dürftigen Entwickelung der Pflanzen möchte ich die ungenügend saure Reaktion der Lösung, da das phosphorsaure Eisen sich niedergeschlagen hatte, und den Umstand, daß ich erst in der vierten Woche die Glasgefäße mit schwarzem Tuche umwickelte und so die Wurzeln gegen das Licht schützte, annehmen. Die Wurzeln scheinen sich unter dem Einfluß des Lichtes ebenso dürftig zu entwickeln, wie in zu starken Lösungen; die Wirkung des Lichtes auf die Wurzel stellte sich klar aus dem Vergleiche mit den Wurzeln der Pflanzen in den Zinkgefäßen heraus, in denen sie stark entwickelt, verzweigt und mit Wurzelhaaren bedeckt waren. Ich überzeugte mich dabei, daß ich nicht nur von dieser, sondern auch überhaupt von keiner Wasserkultur passendes Material für meine physikalischen Analysen bekommen konnte; die Halme der in der Wasserkultur gezüchteten Pflanzen waren nicht so stark, wie die der auf dem Felde ge-

*) Bemerkung: Was die Art und Weise der giftigen Wirkung von Zink auf den Pflanzenorganismus anbelangt, so nimmt A. Baumann**) an, daß das Zink auf das Protoplasma selbst ohne Einwirkung sei, daß ihm auch bei dem Vorgang der Zellbildung, bei der Umwandlung und Fortleitung des Wassers, der Transpiration keine schädliche Wirkung zukäme, sondern daß „weil dasselbe nur bei chlorophyllführenden Pflanzen eine Vegetationsstörung hervorruft, die Ursache der schädlichen Wirkung in einer Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes beruhen muß und daß der Tod der Pflanzen durch die hierdurch hervorgerufene Störung der Assimilationsthätigkeit hervorgerufen wird".

**) Baumann, Landwirthschaftliche Versuchsstation. 1885. Bd. 31. S. 1.

wachsenen; zur Prüfung aber ihrer Widerstandsfähigkeit mit der von mir beabsichtigten Methode konnte ich, um möglichst sichere und übereinstimmende Resultate zu bekommen, nur starke, normal entwickelte und ziemlich dicke Halme gebrauchen; ich beschloß daher, das Material für die physikalischen Analysen nur vom Felde zu nehmen, und verwendete die Wasserkulturpflanzen blos zu chemischen Analysen.

Den 11. Juni wurden alle Pflanzen gemessen, außer denen, welche hauptsächlich wegen mechanischer Beschädigungen bei der Erneuerung der Lösungen abgestorben waren. Es ergab sich folgendes:

	Länge einer Pflanze im Durchschnitt	Summe der Längen
Im Glasgefäß A:	17,7	391
„ „ B:	19,5	355
„ „ C:	20,6	433
„ „ D:	20,3	488
„ „ E:	22,5	587
„ Zinkgefäß A:	21,1	973
„ „ B:	21,3	1006

Daraus können wir ersehen, daß die Gefäße, in denen die Lösung mehr Kieselsäure enthielt, auch größere Pflanzen enthielten; in den Glasgefäßen B ist die Durchschnittslänge und die Summe aller Längen auch etwas größer, als im Zinkgefäße A, obgleich hier die Wirkung des Zinks eine allgemeine Verlangsamung des Höhenwachsthums verursacht und den Unterschied zwischen den Pflanzen in kieselsäurefreien und kieselsäurehaltigen Lösungen kleiner gemacht hatte.

Den 5. Juli nahm ich die Pflanzen aus der Lösung heraus, als nur einige von ihnen zu blühen anfingen, spülte sorgfältig die Wurzeln mit destillirtem Wasser ab, trocknete die Pflanzen bei 80° und dann ließ ich sie einige Tage liegen, damit sie lufttrocken wurden.*)

In der Lösung der Zinkgefäße fand ich pro Liter 0,0018 g Zink, oder in jedem Gefäß (in 7 Litern) = 0,0126 g, in der lufttrocknen Pflanzenmasse = 1,34 % Zinkoxyd; wenn wir diese Zahlen mit den Mengen Zink, welche Nobbe, Bäßler und Will bei ihren obenerwähnten Vergiftungsversuchen angewandt hatten, vergleichen, so werden uns die starken Krankheitserscheinungen meiner Pflanzen nicht wunderbar scheinen. Es ist damit der Beweis geliefert, daß sich die Zinkgefäße für Wasserkulturen nicht eignen, ebensowenig wie Gefäße aus anderen Metallen, welche bei der schwach-sauern Lösung in

*) Bemerkung: Jeder Versuch wurde zweifach in 2 Glasgefäßen von je 8 Liter Inhalt und dreifach in 3 Zinkgefäßen von demselben Inhalt gleichzeitig ausgeführt. Die folgenden Zahlen sind also Durchschnittsergebnisse von zwei oder drei Analysen. Die lufttrockene Masse des Strohes enthielt durchschnittlich 87,50 %, die der Samenreste 89,97 % an wasserfreier Substanz. Das Einäschern geschah vorsichtig in einer geräumigen Platinschale bei schwacher Hitze, dann wurde die Asche mit Salzsäure verdampft, auf dem Wasserbade vollständig ausgetrocknet, dann mit einigen Tropfen Salzsäure angefeuchtet, nach einer halben Stunde in Wasser gelöst und filtrirt; die dann auf dem Filter gebliebene Kieselsäure wurde im Platintiegel geglüht und bestimmt.

chemische Verbindungen mit den Nährstoffsalzen eintreten. Wir sehen also, daß es nicht leicht wird, ein für die Gefäße passendes Material zu finden, um die Pflanze in vollkommen kieselsäurefreien Lösungen vegetiren zu lassen und wollen versuchen, auf anderem Wege die Frage über die Unentbehrlichkeit oder Entbehrlichkeit der Kieselsäure für die Pflanzenvegetation zu lösen.

In den Glasgefäßen A und B analysirte ich die ganzen Pflanzen mit ihren Blättern, Halmen und Wurzeln, und mit den an den Wurzeln hängen gebliebenen Resten des Samens, in den übrigen analysirte ich die Samenreste und die übrige Pflanzenmasse getrennt und verglich die so gefundenen Trockensubstanz-, Aschen- und Kieselsäuremengen mit denen, welche das Korn vor der Vegetation enthalten hatte (Trockensubstanz = 0,0411 g, Asche = 0,0013 g, Kieselsäure = 0,00051 g), um daraus die Stoffzunahme in der Pflanzenmasse und Abnahme im Saatkorn auszurechnen.

Analysen der Wasserkulturpflanzen.

Tabelle I.

I. Gruppe. Ganze Pflanzen.

Gruppe der Gefäße	SiO_2 in der Lösung pro Liter g	Durchschnittsgewicht der **Trockensubstanz** einer Pflanze g	**Asche** in % der Trockensubstanz	**Asche** im Durchschnitt in einer Pflanze g	SiO_2 in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Asche	SiO_2 im Durchschnitt in einer Pflanze g
Zinkgefäße A*) .	0,00	0,0725	15,17	0,0110	0,82	5,37	0,00060
Glasgefäße A .	0,00	0,0924	15,11	0,0139	1,88	12,48	0,00170
„ B .	0,01	0,0896	12,54	0,0112	1,74	13,90	0,00160
„ C .	0,10	0,0945	14,02	0,0132	1,92	13,71	0,00181
„ D .	0,20	0,1055	14,88	0,0157	2,18	14,65	0,00230
„ E .	0,40	0,1153	16,05	0,0185	2,60	16,21	0,00300

Also haben die ganzen Pflanzen im Vergleich mit den Trockensubstanz-, Asche und Kieselsäuremengen der Samen im Durchschnitt zugenommen:

Tabelle II.

Gruppe der Gefäße	An Trockensubstanz g	Asche g	Kieselsäure g
Zinkgefäße A . . .	0,0314	0,0097	0,00009
Glasgefäße A. . .	0,0513	0,0126	0,00119
„ B. . .	0,0484	0,0099	0,00109
„ C. . .	0,0534	0,0119	0,00130
„ D. . .	0,0644	0,0144	0,00179
„ E. . .	0,0742	0,0185	0,00249

*) Die Pflanzen von den Zinkgefäßen B wurden zur Bestimmung des Zinks in der Pflanzenmasse benutzt.

II. Gruppe. A. In den Resten der Samen wurde gefunden:

Tabelle III.

Gruppe der Gefäße	Durchschnittsgewicht der Trockensubstanz eines Samens g	Asche in % der Trockensubstanz	Asche im Durchschnitt in einem Samen g	SiO_2 in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Asche	SiO_2 im Durchschnitt in einem Samen g
Zinkgefäße A . .	0,0135	4,21	0,0006	0,16	3,87	0,00002
Glasgefäße C . .	0,0144	5,82	0,0008	3,84	66,79	0,00055
„ D . .	0,0149	7,11	0,0010	3,79	53,30	0,00057
„ E . .	0,0159	9,21	0,0014	4,26	46,24	0,00065

Jeder Samen hatte also im Durchschnitt während der Vegetation verloren:

Tabelle IV.

Gruppe der Gefäße	An Trockensubstanz g	Asche g	Kieselsäure g
Zinkgefäße A . .	0,0276	0,0007	**0,00049 Abnahme**
Glasgefäße C . .	0,0267	0,0005	0,00004 Zunahme
„ D .	0,0262	0,0003	0,00006 „
„ E . .	0,0258	0,0001	0,00015 „

B. In den Pflanzen ohne Samenreste wurde gefunden:

Tabelle V.

Gruppe der Gefäße	Durchschnitts-Trockensubstanz-Gewicht einer Pflanze g	Asche in % der Trockensubstanz	Asche im Durchschnitt in einer Pflanze g	SiO_2 in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Asche	SiO_2 im Durchschnitt einer Pflanze g
Zinkgefäße A . .	0,0590	17,63	0,0104	1,05	6,00	0,00058
Glasgefäße C . .	0,0801	15,50	0,0124	1,57	10,16	0,00126
„ D . .	0,0906	17,12	0,0147	1,93	11,94	0,00170
„ E . .	0,1000	17,05	0,0171	2,26	13,24	0,00230

Wenn wir diese Analysen B der II. Gruppe mit den Analysen des Samens (vor der Vegetation) vergleichen, so ergiebt sich eine Zunahme pro Pflanze:

Tabelle VI.

Gruppe der Gefäße	An Trockensubstanz g	Asche g	Kieselsäure g
Zinkgefäße A . . .	0,0179	0,0091	0,00007
Glasgefäße C . . .	0,0390	0,0111	0,00075
„ D . . .	0,0906	0,0134	0,00119
„ E . . .	0,1000	0,0158	0,00179

Aus den Ergebnissen dieser Analysen tritt uns vor allem klar hervor, daß sogar da, wo weder in der Lösung selbst, noch in den Wänden des Gefäßes (Zinkgefäße A) Kieselsäure vorhanden war, wir doch in der Gesammtpflanze mehr Kieselsäure gefunden haben, als in dem Samen vor der Vegetation. Diese Zunahme ist in den Zinkgefäßen A = 0,00009 g in jeder Pflanze im Durchschnitt, in den Glasgefäßen A, wo auch keine Kieselsäure in die Lösung gegeben wurde, ist sie noch viel größer als in den Zinkgefäßen und beträgt durchschnittlich in einer Pflanze = 0,00119 g. Woher stammt denn diese Zunahme an Kieselsäure in den Pflanzen, welche in kieselsäurefreien Lösungen vegetirt hatten? Eine Antwort dafür finden wir bei F. Stohmann*). Er fand auch bei den Aschenanalysen von den von ihm in verschiedenen wässerigen Lösungen gezüchteten Pflanzen, gleichviel ob in die Lösungen Kieselsäure gegeben war oder nicht, bedeutende Mengen Kieselsäure und zwar auf 100 g trockener Pflanzenmasse von 0,817 bis 2,296 g Kieselsäure (bei mir nur in den Zinkgefäßen A = 0,820, in den Glasgefäßen A = 1,880 g) und findet dafür keine andere Erklärung, als daß ein Theil der Glassubstanz gelöst sei und die Kieselsäure an die Pflanzen abgegeben habe, und rechnet dabei aus, daß, indem er die Quantität des von seinen Pflanzen täglich verdunsteten Wassers gleich 50 ccm annimmt, 1 Theil Kieselsäure in 144 Tagen durch 31304 Theile Wasser aus dem Glase gelöst wurde. Schon Scheele beobachtete, daß das Glas durch Wasser zersetzt wird und daß eine einfache Destillation von Wasser in Glasgefäßen genüge, um das Destillat deutlich kieselsäurehaltig zu machen; dieses wurde auch später von Lavoisier, Chevreul, Fuchs und Pelouze bestätigt. Obgleich uns also auch keine vergleichenden Versuche über die Wirkung des reinen Wassers und des Wassers, in welchem Pflanzenwurzeln thätig sind, auf die Kieselsäure des Glases vorliegen, so brauchen wir doch nicht die Zunahme an Kieselsäure in der Asche der Pflanzen, welche in kieselsäurefreien Lösungen vegetirt hatten, als von einer speziellen auflösenden Wurzelthätigkeit verursacht, zu betrachten; wir können uns, wie die oben angeführte Ausrechnung von Stohmann und die Versuche von Scheele u. a. zeigen, diese Zunahme einfach durch die lösende Kraft des reinen destillirten Wassers erklären. Wird nun, wie es bei Wasserkulturen der Fall ist, die Lösung, welche eine gewisse Menge schwach sauer reagirender Salze enthält, von der Sonne erwärmt, so ist sie im Stande, während der ganzen Vegetationszeit erhebliche Mengen von Kieselsäure aus den Glasgefäßen aufzulösen: Mengen, welche die durch reines Wasser und Wurzelthätigkeit gelösten Quantitäten nicht unbeträchtlich vermehren. Die Kieselsäurezunahme der Pflanzen in den Zinkgefäßen aber erklärt sich dadurch, daß das destillirte Wasser vor dem Eingießen in die Gefäße in gläsernen Flaschen aufbewahrt worden war.

---

*) F. Stohmann: Landwirthschaftliche Versuchsstationen. Bd. VI. S. 347: „Vegetations-Versuche in wässerigen Lösungen".

Bemerkung: In den Analysen von den Samenresten finden wir in der kieselsäurefreien Lösung eine ganz kolossale Abnahme an Kieselsäure; ungefähr 97% von der vor der Vegetation im Samen vorhandenen Kieselsäure sind theils in die Lösung, vorzugsweise aber, wie uns die Tabelle II zeigt, in die Pflanze herübergegangen. Die Analysen von den Samenresten in den Gefäßen C, D und E zeigen, daß die Samen nichts von ihrer Kieselsäure verloren, sondern sogar Spuren zugenommen haben. Da dieselben um so größer sind, je mehr Kieselsäure in der Lösung war, so können sie nur durch die Imprägnation der

Schlußfolgerungen aus den Analysen der Wasserkulturpflanzen.

Mit Ausnahme einiger Abweichungen und kleinen Ungenauigkeiten, welche bei so kleinen Mengen, wie ich hier zur Verfügung gehabt habe und bei der vielleicht ungenügenden Genauigkeit der Kieselsäure-Bestimmungsmethode überhaupt, wo es sich oft um Spuren handelte, die außerhalb der Fehlergrenze liegen, können diese Analysen als vollständig gelungen betrachtet werden und wir fühlen uns berechtigt, aus ihnen folgende Schlüsse zu ziehen:

1. Bei steigender Menge Kieselsäure in der Lösung steigt auch ihr Gehalt in den Pflanzen, sogar bei sehr großen Gaben (wie in den Glasgefäßen E) findet sich noch eine Steigerung des Kieselsäuregehaltes in den Pflanzen, doch ist zu bemerken, daß die Kieselsäure aus den daran reicheren Lösungen nicht völlig entsprechend diesen größeren Mengen aufgenommen wurde, denn es verhalten sich die Kieselsäuremengen in den Glasgefäßen C, D und E wie 1 : 2 : 4 und die durchschnittlichen Kieselsäurezunahmen (ohne das Kieselsäurequantum, welches vor der Vegetation im Samen war, also die absoluten Zunahmen) wie 130 : 179 : 249 (Tabelle II).

2. Unter dem Einfluß der Kieselsäure haben auch die Trockensubstanz und der Aschengehalt regelmäßig zugenommen (mit Ausnahme der Glasgefäße B, welche überhaupt schwächere Pflanzen als die anderen hatten) und zwar so, daß bei der zweifach größeren Kieselsäuremenge in der Lösung das Trockensubstanzgewicht um ca. 0,0100 g, der Aschengehalt um ca. 0,0030 g durchschnittlich in einer Pflanze (Tabelle II) steigt. Die Steigerung des Aschengehalts bei Zunahme der Kieselsäure hat schon, wie oben erwähnt wurde, auch E. Wolf konstatirt (Landw. Versuchsst., Bd. 30, S. 170).

3. Die Analysen von den noch an den Wurzeln befindlichen Samenresten einerseits und die Analysen von der gesammten übrigen Pflanzenmasse (Wurzel, Blätter und Halme) andererseits zeigen deutlich, daß da, wo in der Lösung keine Kieselsäure vorhanden war (in den Zinkgefäßen A), im Korne nur eine ganz unbedeutende Menge Kieselsäure geblieben ist, nämlich 0,00002 g (Tabelle III), die ganze Kieselsäure aber finden wir in der übrigen Pflanzenmasse (Tabelle V), (und sogar mit einem Ueberschusse, welcher, wie oben erklärt wurde, nur von den Wänden der Glasflaschen, in welchen das destillirte Wasser vor dem Eingießen in die Gefäße aufbewahrt wurde, stammen konnte). In dem Maße, wie sich mehr Kieselsäure in der Nährstofflösung fand, war auch im Korne mehr Kieselsäure unassimilirt geblieben (Tabelle III).

4. Auch von den übrigen Mineralbestandtheilen hat die Pflanze um so weniger assimilirt, je mehr Kieselsäure ihr in der Lösung zur Verfügung stand. Könnte man daraus nicht schließen, daß die Kieselsäure wenigstens in den ganz frühen Vegetationsstadien, wo die Pflanze noch nicht genügend Wurzeln gebildet hat, doch einige andere Pflanzennährstoffe zu vertreten und so lange der Pflanzenorganismus noch kein Chlorophyll für die Kohlenstoff-

---

Samen während der Vegetation mit kieselsäurereicher Lösung erklärt werden und konnten augenscheinlich nicht durch Abspülen mit destillirtem Wasser entfernt werden; diese Mengen sind aber so minimal, daß sie unbeachtet bleiben können.

assimilirung gebildet hat, auch bei der Bildung der organischen Stoffe eine gewisse Funktion zu spielen vermag? Wie uns bekannt ist, hat schon Ladenburg*) eine Hypothese aufgestellt, welche die Kieselsäure als Vertreter des Kohlenstoffs in den organischen Verbindungen annimmt. Alle diese Resultate meiner Wasserkulturen sind zwar nicht im Stande, einen klaren Beweis für die Unentbehrlichkeit der Kieselsäure für die pflanzliche Vegetation zu liefern, doch giebt die hier konstatirte starke Neigung der Pflanze, sich den ganzen Kieselsäurevorrath aus dem Samen, falls sie keine in der Lösung findet, und beim Vorhandensein dieses Stoffes in der Lösung möglichst große Mengen davon aus der Lösung anzueignen (wobei, wie wir gesehen haben, sogar 0,40 g Kieselsäure pro Liter noch nicht die Maximalgrenze für die Steigerung der Kieselsäureaufnahme der Pflanzen zu sein scheint) den Anlaß, zu vermuthen, daß die Kieselsäure im Haushalte des Pflanzenorganismus eine wichtigere Rolle, als es ihr bis jetzt zugeschrieben wurde, zu spielen scheint.

Hierauf kommen wir zu den physikalischen Untersuchungen des Strohes, durch welche ich die Bedeutung der Kieselsäure für die mechanischen Eigenschaften und zwar speziell ihren Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit der Halme klar zu legen versucht habe.

Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften der Strohhalme im Zusammenhange mit ihren chemischen Analysen.

In den nachstehend mitgetheilten Untersuchungen wurde das in der Gelbreife auf dem Halle'schen Versuchsfelde geerntete Stroh verwendet, und zwar habe ich den Schlanstedter und Petkuser Roggen benutzt, außerdem sind in den Tabellen unter C und D die vergleichenden Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften des Strohs von Roggen vom Moor- und Sandboden angegeben, welchen mir Herr Inspektor Berger aus Kunrau die Liebenswürdigkeit hatte, zu schicken, wofür ich ihm hier meinen innigsten Dank sage. Nachdem die gesammten Halme bei ungefähr 60° zwei Tage lang auf einem Backofen getrocknet und hierauf ungefähr eine Woche bei Zimmertemperatur liegen gelassen und in dieser Weise lufttrocken gemacht worden waren, blieb der Wassergehalt des Strohs die zwei Wochen, welche die Untersuchungen gedauert hatten, derselbe und betrug im Mittel 9,89 %. Die chemischen Analysen der obengenannten Stroharten sind aus nebenstehender Tabelle VII ersichtlich.

Da der Aschen- und Kieselsäuregehalt, wie Tabelle VII zeigt, nicht nur in verschiedenen Internodien, sondern auch in verschiedenen Theilen eines und desselben Internodiums so stark schwankt, habe ich auch auf die physikalischen Eigenschaften hin von den einzelnen Internodien stets 2 Theile untersucht.

*) Ladenburg: Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft, 1872, Bd. 5, S. 568: „Ueber die Natur der in der Pflanze vorkommenden Siliciumverbindungen".

Bemerkung: Es wurden nur die Halme analysirt, also ohne Blätter und ohne Knoten.

Tabelle VII.

A. Schlanstedter Roggen.

Internodium.	Asche in % der Trockensubstanz.	SiO_2 in % der Trockensubstanz.	SiO_2 in % der Asche.
I.	3,39	0,60	16,92
II.	3,49	0,58	16,55
III.	3,29	0,59	18,00
IV.	3,26	0,52	15,76
V.	3,57	0,94	26,32
VI.	3,89	0,93	24,57

B. Petkuser Roggen.

I.	3,36	0,76	22,54
II.	3,44	0,66	20,68
III.	3,43	0,69	20,05
IV.	3,34	0,65	18,78
V.	3,64	0,98	26,93
VI.	4,44	1,51	34,79

C. Kunrauer Roggen.

(Es wurden zum Vergleich nur die dritten Internodien analysirt.)

Roggen:			
Vom Moorboden . .	4,71	0,63	13,45
Vom Sandboden . .	2,94	0,69	33,65

D. Vergleichende Analysen der unteren und der oberen Theile von allen Internodien des Schlanstedter Roggens:

Untere Theile . . .	3,50	0,38	10,65
Obere Theile	4,31	1,15	27,17

Die im Folgenden geschilderten Untersuchungen wurden im physikalischen Institute der Universität hierselbst ausgeführt, für dessen Benutzung ich Herrn Professor Dr. Dorn ebenso wie für die mir bei vorliegender Arbeit gütigst gewährte Unterstützung an dieser Stelle nochmals meinen ergebensten Dank ausspreche.

In Bezug auf die Entwickelung der Formeln sei Folgendes vorausgeschickt:

Ein Stab von der Länge l mm, dessen Querschnitt symmetrisch ist zu der durch seine Axe gelegten Horizontal- und Vertikalebene, sei mit einem Ende fixirt, während das andere mit P kg belastet sei. Diejenige Faserschicht, welche vor der Biegung mit der Axe in einer Horizontalebene lag, wird auch nachher ihre Länge behalten (neutrale Schicht), während die oberhalb gelegenen Fasern gedehnt, die unterhalb gelegenen zusammengedrückt werden. Im

ursprünglichen Zustande des Stabes seien durch den Punkt A und einen benachbarten auf der Stabaxe Ebenen senkrecht zu dieser gelegt, so werden nach erfolgter Biegung die Ebenen zu der — nunmehr gekrümmten — Stabaxe senkrecht bleiben und sich in einem Abstande R von A unter dem Winkel $d\varphi$ schneiden. Wir führen ein rechtwinkliges Coordinatensystem ein, sodaß die x-Axe mit der Axe des noch nicht gebogenen Stabes zusammenfällt, die y-Axe durch das fixirte Ende der Axe vertikal abwärts geht und die z-Axe zu beiden senkrecht steht. Dann ist, da nur geringe Biegungen betrachtet werden, in genügender Näherung der reciproke Krümmungshalbmesser $1/R = \frac{d^2y}{dx^2}$. Zur Gleichgewichtsbedingung gelangen wir durch die Ueberlegung, daß die Drehungsmomente der elastischen Kräfte auf den durch A gelegten Querschnitt um eine durch A parallel z gelegte Axe das Gleichgewicht halten müssen dem von P ausgeübten Drehungsmomente. Letzteres ist P (l—x); um ersteres zu berechnen, betrachten wir eine Faser vom Querschnitt do, welche von der neutralen Ebene um s entfernt ist. Das Stück derselben zwischen den beiden Ebenen hatte vor der Biegung gleiche Länge, wie das entsprechende Stück der neutralen Faser, nämlich $Rd\varphi$, während nach der Biegung die Länge $(R + s)\, d\varphi$ geworden ist. Die relative Verlängerung ist somit

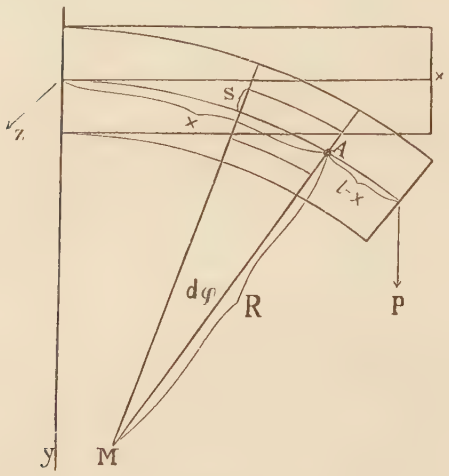

Fig. 1.

$\frac{s}{R} = s\,\frac{d^2y}{dx^2}$, die infolge derselben sich entwickelnde Kraft $Es\,\frac{d^2y}{dx^2}\,do$, wo E den Elasticitätsmodul in kg Gew. / qmm bedeutet und endlich der Beitrag zum Drehungsmoment

$$Es^2\,\frac{d^2y}{dx^2}\,do.$$

Durch Integration über den Querschnitt erhalten wir das ganze Dehnungsmoment

$$Ek^2\,\frac{d^2y}{dx^2},$$

wo

$$k^2 = \int s^2\,do$$

das sogenannte Trägheitsmoment des Querschnitts ist.

Durch Gleichsetzung folgt:

$$Ek^2\,\frac{d^2y}{dx^2} = P\,(l—x),$$

woraus durch zweimalige Integration

$$Ek^2y = P\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + c_1\,x + c_2.$$

Die Integrationskonstanten c_1 und c_2 verschwinden, wenn der Anfangspunkt der Axe seine Lage und das erste Element der Axe seine Richtung auch nach der Biegung beibehält.

Es wird somit

$$Ek^2 y = P\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right).$$

Die Senkung des Stabendes folgt für $x = l$

$$y_1 = \frac{P}{Ek^2}\,\frac{l^3}{3}.$$

Beobachtungen werden in der Regel so angestellt, daß der an beiden Enden aufgelegte Stab in der Mitte belastet wird. Es verhält sich dann ebenso, als wäre der mittlere Querschnitt fixirt und es wirkte jederseits die halbe Kraft aufwärts an einem Stabe der halben Länge. Ist nun l der Abstand der Unterstützungspunkte, P die ganze Belastung, so ist die Senkung der Mitte

$$y_1 = \frac{P}{Ek^2}\,\frac{l^3}{48}.$$

Bei Festigkeitsuntersuchungen ist diejenige Stelle zu ermitteln, für welche die relative Verlängerung den höchsten Werth erreicht, denn hier wird die Festigkeitsgrenze zuerst überschritten werden.

(Vorausgesetzt wird hierbei, daß die Formeln der Elasticitätstheorie bis zur Elasticitätsgrenze gültig bleiben.)

Der Ausdruck für die relative Verlängerung wird nun (für den am Ende belasteten Stab)

$$s\,\frac{d^2y}{dx^2} = s\,\frac{P}{Ek^2}\,(l-x)$$

und erreicht das Maximum für $x = o$ und die von der neutralen Schicht um den größten Betrag s^1 abstehende Faser mit

$$\sigma = s^1\,\frac{Pl}{Ek^2},$$

woraus für den in der Mitte belasteten Stab sich ergiebt

$$\sigma = \frac{s^1 Pl}{4Ek^2}.$$

Hieraus folgt für die auf das qmm bezogene Beanspruchung in kg. Gewicht

$$z = E\sigma = \frac{s^1 Pl}{4k^2}.$$

Das Maximum der Beanspruchung, welche die Substanz erträgt, erhält man, wenn man P vorsichtig bis zum Bruch steigert und für s^1, l, k^2 ihre Werthe einsetzt.

Für die Anwendung auf die vorliegende Untersuchung ist zu beachten, daß der Querschnitt der Strohhalme angenähert elliptisch ist.

Sind die Hauptaxen der inneren Begrenzung α_1, β_1, die der äußeren α_2, β_2, so folgt für das Trägheitsmoment um die Axe α

$$k^2 = \frac{\pi}{4}\,(\alpha_2\,\beta_2{}^3 - \alpha_1\,\beta_1{}^3)$$

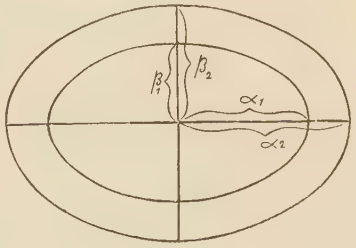

Fig. 2.

und, indem man für s^1 den Werth β_2 (entsprechend dem Ende der anderen Axe) einsetzt

$$z = E\sigma = \frac{\beta_2\,Pl}{\pi\,(\alpha_2\,\beta_2{}^3 - \alpha_1\,\beta_1{}^3)}$$

als Maaß der Festigkeit der Substanz.

(Fortsetzung des Textes auf Seite 36.)

Tabelle VIII.

Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften des Strohes.

A. Beim Schlanstedter Roggen.

Nummer des Halmes	Nummer des Internodiums (von unten gezählt)	Theil des Halmes a = unterer b = oberer	Länge des ganzen Internodiums cm	Gewicht des ganzen Internodiums (mit dem unteren Knoten) g	Gewicht des oberen Halmtheils, welchen das Internodium zu tragen hat g	Hauptaxen der äußeren Begrenzung a = die größere mm	Hauptaxen der äußeren Begrenzung b = die kleinere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung a = die größere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung b = die kleinere mm	Dicke der Wände mm	Länge des analysirten Halmstückes mm	Gewicht des analysirten Halmstückes mg	Abstand der Unterstützungspunkte cm	Belastung, bei der der Bruch eintrat, f. jed. einzelnen Internodiumtheil g	Belastung, bei der der Bruch eintrat, Mittel f. d. ganze Internodium g	Der Festigkeitsmodul u. d. Formel ausgerechn., für jeden einzelnen Internodiumtheil	Der Festigkeitsmodul u. d. Formel ausgerechn., Mittel f. d. ganze Internodium	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) für jeden einzelnen Internodiumtheil	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) Mittel f. d. ganze Internodium	Der durchschnittliche Festigkeitsmodul für den ganzen Halm	Die durchschnittliche Dichte für den ganzen Halm	Länge der Aehre cm	Gewicht der Aehre g	Durchschnittsgewicht eines Kornes g
I	1	a	9,5	0,3656	5,5826	2,478	2,308	1,773	1,602	0,706	40,0	150,8	3,5	2450	2412	2,719	2,202	0,4170	0,3777	1,982	0,2801	12,5	2,728	0,0317
		b				2,527	2,454	1,762	1,689	0,765	42,0	144,0	3,5	2374		1,685		0,3384						
	2	a	22,0	0,6158	4,9668	2,916	2,818	2,240	2,142	0,676	51,0	145,8	3,5	1500	1556	1,090	1,104	0,2662	0,2431					
		b				2,940	2,818	2,220	2,098	0,720	51,0	127,8	3,5	1612		1,118		0,2200						
	3	a	32,0	0,7952	4,1716	3,017	3,013	2,282	2,278	0,735	65,0	140,6	3,5	1227	1246	0,743	0,945	0,1770	0,2159					
		b				2,745	2,673	2,157	2,085	0,588	55,0	125,0	3,5	1265		1,146		0,2549						
	4	a	46,0	0,7630	3,4086	2,545	2,356	2,060	1,870	0,485	53,0	77,0	3,5	1029	979	1,365	1,496	0,2160	0,2447					
		b				2,284	2,138	1,829	1,683	0,455	55,5	86,0	3,5	929		1,627		0,2733						
	5	a	56,0	0,6810	2,7276	1,506	1,482	1,065	1,041	0,441	52,0	52,2	3,5	679	609	3,030	4,164	0,2848	0,3190					
		b				1,166	1,118	0,813	0,765	0,353	55,5	42,0	3,5	540		5,297		0,3532						
II	1	a	8,5	0,5900	8,2087	2,964	2,843	1,935	1,814	1,029	60,0	331,0	3,5	5030	?	2,816	?	0,3570	?	1,351	0,2453	16,5	3,874	0,0400
	2	a	13,5	0,7321	7,4766	3,207	3,013	2,354	2,160	0,853	61,0	234,2	3,5	2675	?	1,403	?	0,2671	?					
	3	a	24,0	1,0690	6,4076	3,426	3,256	2,514	2,344	0,912	57,0	176,8	3,5	1875	1750	0,790	0,831	0,1828	0,1882					
		b				3,353	3,207	2,686	2,540	0,667	49,0	147,6	3,5	1625		0,872		0,1946						
	4	a	40,5	1,4182	4,9894	3,110	2,964	2,419	2,273	0,691	45,0	99,4	3,5	1047	995	0,657	0,633	0,1889	0,1989					
		b				3,183	2,988	2,551	2,356	0,632	42,0	96,4	3,5	943		0,609		0,2090						
	5	a	56,0	1,1154	3,8740	2,284	2,138	1,770	1,624	0,514	52,0	71,0	3,5	680	602	1,099	1,414	0,2165	0,2379					
		b				1,859	1,531	1,360	1,032	0,499	51,0	60,0	3,5	525		1,730		0,2593						
III	1	a	9,0	0,1472	3,0328	1,858	1,694	1,285	1,121	0,573	42,0	83,4	3,5	1012	980	2,626	2,554	0,3663	0,3215	1,497	0,2202	13,0	1,2776	0,0215
		b				1,765	1,728	1,177	1,140	0,588	43,0	63,8	3,5	949		2,482		0,2767						
	2	a	19,5	0,2881	2,7447	2,191	2,186	1,720	1,715	0,471	47,0	55,6	3,5	622	647	1,066	1,126	0,2057	0,2028					
		b				2,089	2,018	1,501	1,430	0,588	44,0	56,8	3,5	672		1,187		0,1999						
	3	a	29,5	0,4339	2,3108	2,113	2,089	1,628	1,604	0,485	55,0	53,5	3,5	500	506	0,928	1,020	0,1718	0,1811					
		b				1,994	1,900	1,480	1,386	0,514	43,0	44,7	3,5	512		1,113		0,1904						
	4	a	40,5	0,6800	1,6308	1,733	1,728	1,307	1,302	0,426	46,0	30,0	3,5	262	?	0,696	?	0,1588	?					
	5	a	48,0	0,3532	1,2776	1,458	1,360	1,164	1,066	0,294	50,0	26,0	3,5	153	176	1,248	1,971	0,2231	0,2207					
		b				1,045	0,948	0,648	0,551	0,397	52,0	22,6	3,5	200		2,694		0,2184						

IV	1	a	9,0	0,0833	2,5654	2,018	1,994	1,386	1,362	0,632	47,0	77,9	3,5	1207	?	2,146	?	0,2471	?							
	2	a	18,0	0,3182	2,2472	2,381	2,066	1,867	1,552	0,514	46,0	55,7	3,5	577	651	0,948	1,001	0,1907	0,1950							
		b				2,332	2,186	1,773	1,627	0,559	44,0	61,0	3,5	725		1,055		0,1994								
	3	a	22,5	0,3456	1,9016	2,405	2,235	1,920	1,750	0,485	45,0	43,0	3,5	505	486	0,764	0,779	0,1504	0,1763	1,399	0,2292	11,5	1,0824	?		
		b				2,265	2,260	1,839	1,834	0,426	43,0	47,0	3,5	467		0,794		0,2022								
	4	a	26,5	0,4320	1,4696	2,014	1,844	1,720	1,550	0,294	47,0	34,0	3,5	353	374	1,164	1,189	0,2228	0,2373							
		b				1,968	1,844	1,636	1,512	0,332	46,0	42,5	3,5	395		1,215		0,2516								
	5	a	39,5	0,3872	1,0824	1,458	1,361	1,164	1,067	0,294	45,0	29,5	3,5	159	193	1,066	2,074	0,2809	0,2944							
		b				1,000	0,997	0,647	0,644	0,353	46,0	25,5	3,5	227		3,083		0,3080								
V	1	a	16,5	0,5114	4,3423	2,867	2,624	2,116	1,875	0,749	42,0	58,7	3,5	1580	1525	1,248	1,240	0,1251	0,1942							
		b				2,842	2,503	2,093	1,754	0,749	48,0	36,4	3,5	1470		1,232		0,2633								
	2	a	24,5	0,6900	3,6523	3,037	2,673	2,331	1,967	0,706	47,0	95,3	3,5	1090	1028	0,806	0,787	0,1828	0,1857							
		b				3,061	2,673	2,435	2,047	0,626	53,0	100,5	3,5	967		0,768		0,1887								
	3	a	29,5	0,6100	3,0423	2,867	2,578	2,308	1,968	0,559	55,0	79,7	3,5	790	772	0,776	0,807	0,1706	0,2064							
		b				2,745	2,478	2,231	1,964	0,514	46,0	84,7	3,5	755		0,839		0,2421								
	4	a	40,0	0,7810	2,2613	2,186	2,040	1,660	1,512	0,529	50,0	57,2	3,5	568	589	1,004	1,127	0,1863	0,1994							
		b				2,187	1,944	1,717	1,474	0,470	51,5	59,0	3,5	610		1,250		0,2121								
	5	a	47,5	0,5490	1,7123	1,432	1,312	1,012	0,892	0,420	57,0	47,2	3,5	245	295	1,427	2,129	0,2703	0,2662							
		b				1,240	1,117	0,765	0,647	0,470	52,0	37,9	3,5	345		2,832		0,2622								
VI	1	a	4,0	0,0920	3,8579	2,093	2,089	1,211	1,207	0,882	32,0	91,0	2,1	2145	?	1,767	?	0,3103	?	1,367	0,2394	15,0	1,0760	0,0275		
	2	a	12,7	0,3016	4,5563	2,356	2,332	1,695	1,671	0,661	44,0	81,0	3,5	1160	1180	1,372	1,490	0,2202	0,2270							
		b				2,235	2,201	1,559	1,525	0,676	45,0	84,0	3,5	1200		1,608		0,2338								
	3	a	33,5	0,5970	2,9593	2,478	2,381	1,993	1,896	0,485	49,0	62,0	3,5	620	605	0,827	0,845	0,2720	0,2427							
		b				2,430	2,308	1,945	1,847	3,461	44,0	63,5	3,5	590		0,862		0,2135								
	4	a	32,0	0,7048	2,2545	2,186	2,089	1,775	1,678	0,411	45,0	36,7	3,5	340	386	0,474	0,755	0,1625	0,1889							
		b				2,113	1,944	1,701	1,532	0,412	48,0	38,7	3,5	433		1,037		0,2153								
	5	a	58,0	0,4945	1,7600	1,432	1,312	1,079	0,959	0,353	50,0	24,6	3,5	204	217	1,306	2,138	0,1856	0,2335							
		b				1,026	1,021	0,673	0,668	0,353	54,0	28,6	3,5	231		2,970		0,2815								
VII	1	a	6,0	0,2500	7,2355	2,916	2,842	1,739	1,665	1,777	49,0	240,0	3,5	3945	?	2,122	?	0,2900	?	1,417	0,2497	17,5	3,1800	0,0386		
	2	a	11,5	0,5236	6,7119	3,231	3,037	2,378	2,184	0,853	44,0	155,0	3,5	2665	2361	1,373	1,150	0,2429	0,2314							
		b				3,280	3,207	2,368	2,295	0,912	37,0	130,0	3,5	2067		0,928		0,2200								
	3	a	25,0	0,8675	5,8444	3,256	3,231	2,580	2,555	0,676	46,0	127,4	3,5	1685	1647	0,920	0,895	0,2245	0,2316							
		b				3,304	3,231	2,643	2,570	0,661	48,0	139,6	3,5	1610		0,871		0,2388								
	4	a	47,0	1,3688	4,4756	2,993	2,988	2,361	2,356	0,632	48,5	103,8	3,5	1285	1162	0,874	0,927	0,2012	0,2253							
		b				2,794	2,745	2,274	2,225	0,520	53,0	108,4	3,5	1040		0,981		0,2495								
	5	a	59,0	1,2956	3,1800	2,260	2,103	1,789	1,632	0,471	52,7	78,5	3,5	810	687	1,434	2,187	0,2589	0,2750							
		b				1,407	1,346	0,907	0,846	0,500	40,0	41,2	3,5	565		2,941		0,2912								
VIII	1	a	6,0	0,3166	7,4573	3,352	3,085	2,837	2,070	1,015	44,0	235,0	3,5	3185	?	1,494	?	0,3807	?	1,042	0,2497	15,5	2,6279	0,0451		
	2	a	17,0	0,8528	6,6045	3,790	3,499	2,908	2,617	0,882	56,0	217,6	2,1	2038	?	0,433	?	0,2190	?							
	3	b	29,5	1,8000	4,8045	3,523	3,280	2,862	2,619	0,661	51,5	147,4	3,5	1200	?	0,758	?	0,2248	?							

Nummer des Halmes	Nummer des Internodiums (von unten gezählt)	Theil des Halmes a = unterer b = oberer	Länge des ganzen Internodiums cm	Gewicht des ganzen Internodiums (mit dem unteren Knoten) g	Gewicht des oberen Halmtheils, welchen das Internodium zu tragen hat g	Hauptaxen der äußeren Begrenzung a = die größere mm	Hauptaxen der äußeren Begrenzung b = die kleinere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung a = die größere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung b = die kleinere mm	Dicke der Wände mm	Länge des analysirten Halmstückes mm	Gewicht des analysirten Halmstückes mg	Abstand der Unterstützungspunkte cm	Belastung, bei der der Bruch eintrat, f. jed. einzelnen Internodiumtheil g	Belastung, bei der der Bruch eintrat, Mittel f. d. ganze Internodium g	Der Festigkeitsmodul (n. d Formel ausgerechn.) für jeden einzelnen Internodiumtheil	Der Festigkeitsmodul (n. d Formel ausgerechn.) Mittel f. d. ganze Internodium	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) für jeden einzelnen Internodiumtheil	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) Mittel f. d. ganze Internodium	Der durchschnittliche Festigkeitsmodul für den ganzen Halm	Die durchschnittliche Dichte für den ganzen Halm	Länge der Aehre cm	Gewicht der Aehre g	Durchschnittsgewicht eines Kornes g
VIII	4	a	41,0	1,1014	3,7031	3,207	3,013	2,737	2,543	0,470	49,0	107,4	3,5	812	838	0,638	0,779	0,2581	0,2663	1,194	0,2395	12,8	1,8557	0,0288
		b				2,745	2,624	2,260	2,139	0,485	49,0	99,9	3,5	865		0,921		0,2746						
	5	a	56,5	1,0752	2,6279	1,994	1,954	1,539	1,499	0,455	44,0	72,6	3,5	468	441	1,052	1,949	0,3305	0,3583					
		b				1,312	1,264	0,915	0,867	0,397	51,0	53,5	3,5	415		2,846		0,3862						
IX	1	a	4,5	0,1106	4,3385	2,454	2,313	1,572	1,450	0,882	42,5	110,6	2,1	1880	?	1,138	?	0,2441	?					
	2	a	13,5	0,3379	4,0006	2,809	2,454	2,162	1,807	0,647	49,5	87,4	2,1	825	?	0,768	?	0,1881	?					
	3	a	25,5	0,5786	3,4220	2,964	2,818	2,435	2,289	0,529	43,0	60,6	2,1	655	737	0,541	0,662	0,1612	0,1908					
		b				2,794	2,527	2,193	1,925	0,602	44,0	86,6	2,1	820		0,784		0,2205						
	4	a	42,5	0,8955	2,5265	2,552	2,356	2,100	1,915	0,441	49,0	56,5	2,1	363	461	0,511	0,837	0,1852	0,2370					
		b				2,332	2,018	1,929	1,616	0,403	45,5	64,6	2,1	560		1,163		0,2888						
	5	a	53,0	0,6708	1,8557	1,408	1,312	0,966	0,871	0,441	50,0	46,4	2,1	335	357	1,627	2,714	0,3504	0,3554					
		b				1,118	1,094	0,706	0,682	0,412	49,0	40,8	2,1	380		3,802		0,3564						
X	1	a	7,5	0,1900	3,8786	2,196	2,138	1,343	1,285	0,853	34,0	86,6	2,1	1990	?	1,547	?	0,2763	?	1,612	0,2465	13,5	1,8360	0,0273
	2	a	19,0	0,4470	3,4316	2,308	2,211	1,706	1,610	0,602	47,0	89,3	3,5	1212	1156	2,532	1,897	0,2571	0,2527					
		b				2,575	2,430	1,987	1,842	0,588	57,0	102,8	3,5	1100		1,262		0,2483						
	3	a	28,5	0,4816	2,9500	2,478	2,356	1,905	1,783	0,573	48,0	68,6	3,5	752	743	0,918	0,938	0,1878	0,1957					
		b				2,454	2,308	1,910	1,764	0,544	47,0	69,0	3,5	735		0,959		0,2036						
	4	a	36,5	0,6499	2,3002	2,186	2,113	1,774	1,701	0,412	57,0	54,8	3,5	418	458	0,838	1,044	0,2138	0,2335					
		b				2,060	1,880	1,663	1,483	0,397	47,0	52,6	3,5	498		1,260		0,2532						
	5	a	50,0	0,4642	1,8360	1,482	1,407	1,025	1,100	0,382	48,5	35,1	3,5	285	290	1,568	2,773	0,2408	0,2788					
		b				1,020	0,972	0,640	0,590	0,382	53,0	32,4	3,5	296		3,978		0,3169						

B. Beim Petkuser Roggen.

I.	1	a	10,5	0,2013	3,9724	2,381	2,332	1,587	1,538	0,794	48,5	104,6	3,5	1380	1777	1,651	1,560	0,2383	0,2428	1,795	0,2527	13,5	1,7846	0,0336
		b				2,332	2,163	1,512	1,443	0,720	40,0	96,7	2,1	2175		1,469		0,2473						
	2	a	18,0	0,3968	3,5756	2,673	2,503	2,085	1,915	0,588	45,0	75,0	3,5	855	950	0,874	0,867	0,1967	0,2238					
		b				2,503	2,235	1,974	1,706	0,529	32,0	56,2	2,1	1045		0,860		0,2511						
	3	a	26,5	0,6066	2,9690	2,843	2,649	2,343	2,149	0,500	52,0	73,4	3,5	712	679	0,710	0,891	0,1800	0,2178					
		b				2,454	2,235	2,042	1,823	0,412	43,0	60,8	3,5	647		1,073		0,2557						
	4	a	41,0	0,6820	2,2870	2,454	2,089	2,057	1,692	0,397	57,0	57,6	3,5	335	407	0,628	0,976	0,1955	0,2229					
		b				1,916	1,822	1,504	1,410	0,412	48,0	51,7	3,5	489		1,324		0,2503						
	5	a	50,5	0,5024	1,7846	1,482	1,337	1,129	0,984	0,353	54,5	36,2	3,5	285	215	1,722	4,680	0,2430	0,3562					
		b				0,792	0,705	0,469	0,382	0,323	56,0	31,3	3,5	245		7,639		0,4695						

II	1	a	14,5	0,4908	5,4264	2,867	2,430	2,058	1,621	0,809	46,0	161,2	2,1	2954	2115	1,480	1,710	0,3045	0,2922	1,877	0,2978	13,5	2,700	0,0358
		b				2,746	2,347	1,937	1,538	0,809	59,0	179,9	3,5	2115		1,940		0,2800						
	2	a	22,5	0,5846	4,8418	2,989	2,721	2,226	1,956	0,765	50,0	122,3	3,5	1485	1587	1,033	1,309	0,2059	0,2365					
		b				2,697	2,430	2,050	1,783	0,647	48,0	116,7	3,5	1587		1,586		0,2671						
	3	a	29,0	0,7510	4,0908	2,916	2,478	2,348	1,910	0,568	50,0	100,1	3,5	1075	985	1,059	1,202	0,2324	0,2652					
		b				2,440	2,332	1,940	1,832	0 500	46,0	92,0	3,5	985		1,346		0,2981						
	4	a	38,5	0,8108	3,2800	2,284	2,138	1,872	1,726	0,412	45,0	61,3	3,5	573	653	1,075	1,315	0,2625	0,2871					
		b				2,089	1,944	1,692	1,547	0,397	46,0	65,0	3,5	653		1,556		0,3118						
	5	a	49,0	0,5800	2,7000	1,337	1,286	0,984	0,933	0 353	45,0	35,3	3,5	411	315	2,881	3,850	0,3117	0,4080					
		b				0,987	0,958	0,664	0,625	0,323	47,0	39,0	3,5	315		4,820		0,5042						
III	1	a	6,0	0,1258	4,4523	2,235	2,113	1,353	1,231	0,882	47,0	125,7	3,5	1875	?	2,379	?	0,2785	?					
	2	a	17,5	0,4147	4,0476	2,454	2,430	1,822	1,798	0,632	44,0	88,3	3,5	1345	1005	1,479	1,472	0,2373	0,2462	1,667	0,2541	13,1	2,0775	0,0396
		b				2,332	2,163	1,759	1,590	0,573	45,0	81,3	3,5	1005		1,465		0,2551						
	3	a	29,5	0,5751	3,4625	2,551	2,478	2,081	2,008	0,470	46,0	67,7	3,5	697	725	0,876	0,929	0,2188	0,2266					
		b				2,551	2,430	2,110	1,989	0,441	51,0	75,1	3,5	725		0,982		0,2344						
	4	a	50,0	0,7700	2,6925	2,381	2,332	1,940	1,891	0,441	52,0	52,3	3,5	460	435	0,701	0,907	0,1700	0,2106					
		b				2,018	1,891	1,621	1,494	0,397	50,0	55,0	3,5	435		1,113		0,2512						
	5	a	58,0	0,6150	2,0775	1,553	1,432	1,229	1,108	0,324	50,0	33,0	3,5	330	265	1,822	2,572	0,2437	0,2990					
		b				1,074	1,069	0,780	0,775	0,294	53,0	32,1	3,5	265		3,323		0,3544						
IV	1	a	11,5	0,1856	3,1680	2,041	1,944	1,527	1,430	0,514	44,5	94,8	3,5	1210	?	2,489	?	0,3802	?	1,780	0,2991	11,0	1,1844	0,0352
	2	a	23,0	0,4376	2,7304	2,381	2,235	1,926	1,780	0,455	50,0	78,8	3,5	760	732	0,837	1,292	0,2650	0,2975					
		b				2,018	1,915	1,621	1,518	0,397	50,0	72,8	3,5	705		1,747		0,3301						
	3	a	27,0	0,4862	2,2442	2,527	2,284	2,160	1,917	0,367	52,0	67,6	3,5	640	580	0,718	1,059	0,2537	0,2736					
		b				1,994	1,944	1,641	1,591	0,353	48,4	56,0	3,5	520		1,401		0,2936						
	4	a	42,5	0,6018	1,6424	2,138	1,994	1,756	1,612	0,382	46,0	42,6	3,5	365	372	0,846	1,150	0,2060	0,2593					
		b				1,797	1,775	1,503	1,481	0,294	49,0	46,3	3,5	380		1,455		0,3127						
	5	a	56,0	0,4580	1,1844	1,432	1,286	1,138	0,992	0,294	52,0	27,7	3,5	224	215	1,663	2,781	0,2382	0,2720					
		b				0,996	0,972	0,702	0,678	0,294	52,0	24,6	3,5	207		3,900		0,3059						
V	1	a	13,5	0,4790	6,1007	2,745	2,503	1,863	1,621	0,882	46,0	191,0	3,5	3075	2816	2,442	2,490	0,3431	0,3652	2,203	0,3094	14,0	2,5016	0,0415
		b				2,648	2,381	1,968	1,661	0,720	44,0	162,4	3,5	2557		2,539		0,3873						
	2	a	20,0	0,7349	5,3658	2,940	2,745	2,131	1,936	0,809	47,0	130,6	3,5	1847	1741	1,246	1,395	0,2243	0,2538					
		b				2,575	2,503	1,884	1,812	0,691	46,0	124,1	3,5	1635		1,545		0,2833						
	3	a	29,0	0,9350	4,4308	3,037	2,842	2,375	2,181	0,661	49,0	122,0	3,5	1520	1407	1,245	1,233	0,2299	0,2537					
		b				2,745	2,575	2,143	1,973	0,602	48,0	118,9	3,5	1295		1,221		0,2776						
	4	a	47,5	1,1575	3,2733	2,624	2,537	2,080	1,993	0,544	51,0	87,1	3,5	935	802	1,001	1,240	0,2157	0,2669					
		b				2,066	1,994	1,640	1,568	0,426	47,0	72,7	3,5	670		1,480		0,3181						
	5	a	52,0	0,7717	2,5016	1,385	1,312	1,032	0,959	0,353	50,5	51,4	3,5	580	462	3,819	4,659	0,3915	0,4075					
		b				0,972	0,923	0,619	0,570	0,353	50,0	36,3	3,5	347		5,500		0,4236						
VI	1	a	14,4	0,3750	2,9648	2,284	2,211	1,696	1,623	0,588	48,0	110,2	3,5	1520	1287	2,147	2,177	0,3182	0,3460	1,829	0,3099	11,5	0,7657	0,0317
		b				2,041	1,994	1,571	1,524	0,470	47,0	92,4	3,5	1055		2,208		0,3738						

Nummer des Halmes	Nummer des Internodiums (von unten gezählt)	Theil des Halmes unterer a / oberer b	Länge des ganzen Internodiums cm	Gewicht des ganzen Internodiums (mit dem unteren Knoten) g	Gewicht des oberen Halmtheils, welchen das Internodium zu tragen hat g	Hauptaxen der äußeren Begrenzung: a — die größere mm	Hauptaxen der äußeren Begrenzung: b — die kleinere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung: a — die größere mm	Hauptaxen der inneren Begrenzung: b — die kleinere mm	Dicke der Wände mm	Länge des analysirten Halmstückes mm	Gewicht des analysirten Halmstückes mg	Abstand der Unterstützungspunkte cm	Belastung, bei der der Bruch eintrat, f. jed. einzelnen Internodiumtheil g	Belastung, bei der der Bruch eintrat, Mittel f. d. ganze Internodium g	Der Festigkeitsmodul (n. d. Formel ausgerechn.) für jeden einzelnen Internodiumtheil	Der Festigkeitsmodul (n. d. Formel ausgerechn.) Mittel f. d. ganze Internodium	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) für jeden einzelnen Internodiumtheil	Dichte (nach der Formel ausgerechnet) Mittel f. d. ganze Internodium	Der durchschnittliche Festigkeitsmodul für den ganzen Halm	Die durchschnittliche Dichte für den ganzen Halm	Länge der Aehre cm	Gewicht der Aehre g	Durchschnittsgewicht eines Kornes g
VI	2	a	22,0	0,4995	2,4653	2,503	2,430	2,091	2,018	0,412	47,0	80,0	3,5	912	852	1,318	1,534	0,2910	0,3252					
		b				2,162	2,089	1,795	1,722	0,367	45,0	72,4	3,5	792		1,751		0,3594						
	3	a	31,0	0,5924	1,8729	2,405	2,356	2,067	2,018	0,338	49,0	71,1	3,5	810	697	1,469	1,481	0,3090	0,3201					
		b				2,162	2,018	1,839	1,695	0,323	49,0	63,5	3,5	585		1,493		0,3313						
	4	a	42,5	0,6480	1,2249	2,245	2,167	1,951	1,873	0,294	50,0	44,6	3,5	375	401	0,903	1,114	0,2345	0,2645					
		b				1,915	1,844	1,577	1,506	0,338	46,0	49,3	3,5	427		1,325		0,2945						
	5	a	53,5	0,4592	0,7657	1,458	1,361	1,164	1,067	0,294	50,0	31,6	3,5	257	238	1,725	2,837	0,2704	0,2936					
		b				0,972	0,874	0,649	0,551	0,323	48,0	23,5	3,5	219		3,949		0,3168						
VII	1	a	17,5	0,3738	2,9648	2,308	2,235	1,617	1,544	0,691	49,0	101,0	3,5	1496	1326	1,870	1,771	0,2466	0,2585	1,370	0,2222	13,2	2,2859	0,0395
		b				2,260	2,211	1,687	1,638	0,573	46,0	87,3	3,5	1156		1,673		0,2704						
	2	a	20,5	0,4331	2,4653	2,551	2,503	1,998	1,968	0,535	47,0	69,0	3,5	640	687	0,720	0,718	0,1904	0,1932					
		b				2,381	2,356	1,822	1,797	0,559	46,0	66,2	3,5	735		0,716		0,1961						
	3	a	22,0	0,4369	1,8729	2,648	2,551	2,119	2,022	0,529	45,0	58,4	3,5	574	576	0,617	0,693	0,1673	0,1781					
		b				2,503	2,356	2,009	1,862	0,494	45,0	57,6	3,5	579		0,769		0,1890						
	4	a	40,5	0,7355	1,2249	2,356	2,260	1,895	1,799	0,461	48,0	51,6	3,5	435	445	0,678	0,835	0,1786	0,2206					
		b				2,162	2,066	1,780	1,684	0,382	47,0	57,0	3,5	455		0,992		0,2627						
	5	a	55,5	0,6090	0,7657	1,385	1,264	1,012	0,891	0,373	52,0	32,2	3,5	261	247	1,767	2,835	0,2325	0,2608					
		b				0,948	0,899	0,586	0,537	0,362	49,0	23,9	3,5	233		3,904		0,2892						
VIII	1	a	4,0	0,0818	3,8861	1,915	1,844	1,136	1,065	0,779	36,0	81,8	1,4	2439	?	1,884	?	0,2475	?	1,877	0,2656	12,0	1,8896	0,0344
	2	a	21,5	0,4143	3,4718	2,391	2,332	1,669	1,620	0,712	50,0	92,8	3,5	1230	1026	1,385	1,542	0,2075	0,2648					
		b				2,041	1,959	1,541	1,459	0,500	48,0	85,0	3,5	822		1,700		0,3222						
	3	a	25,5	0,4325	3,0393	2,454	2,260	2,042	1,848	0,412	49,0	57,2	3,5	457	560	0,745	1,049	0,2097	0,2343					
		b				2,235	2,089	1,841	1,695	0,394	49,0	61,7	3,5	664		1,353		0,2590						
	4	a	46,5	0,6867	2,3526	2,018	1,797	1,674	1,454	0,344	47,0	37,2	3,5	340	378	1,038	1,293	0,2112	0,2716					
		b				1,822	1,751	1,513	1,442	0,309	47,0	49,4	3,5	416		1,549		0,3320						
	5	a	52,0	0,4630	1,8896	1,215	1,118	0,992	0,795	0,323	53,5	25,4	3,5	206	213	2,138	3,520	0,2651	0,3012					
		b				0,850	0,828	0,523	0,505	0,343	53,0	24,6	3,5	220		4,903		0,3373						
IX	1	a	9,0	0,1948	3,8785	2,235	2,018	1,662	1,445	0,573	42,0	88,3	3,5	1484	?	2,500	?	0,3175	?	2,038	0,2680	12,8	1,2912	0,0352
	2	a	23,5	0,5634	3,3151	2,697	2,478	2,109	1,890	0,588	50,0	96,7	3,5	1003	1004	1,034	1,280	0,2335	0,2562					
		b				2,356	2,162	1,827	1,633	0,529	45,0	83,3	3,5	1006		1,527		0,2790						
	3	a	33,0	0,7625	2,5526	2,648	2,503	2,163	2,018	0,485	50,0	73,2	3,5	777	718	0,911	0,954	0,2059	0,2423					
		b				2,503	2,186	2,018	1,701	0,485	47,0	68,8	3,5	660		0,997		0,2284						

	4	a	46,5	0,6670	1,8856	2,235	1,915	1,882	1,562	0,353	46,0	41,4	3,5	395	495	0,988	1,251	0,2136	0,2455								
		b				2,235	1,822	1,853	1,440	0,382	53,0	64,8	3,5	595		1,514		0,2774								
	5	a	59,0	0,5944	1,2912	1,361	1,166	1,008	0,813	0,353	52,0	26,7	3,5	256	276	2,058	4,074	0,2128	0,2677								
		b				0,899	0,826	0,546	0,473	0,353	54,0	26,5	3,5	297		6,090		0,3226								
X	1	a	9,5	0,1405	3,1768	1,944	1,915	1,238	1,209	0,706	34,0	83,2	2,1	1558	1314	1,740	2,192	0,3500	0,3620	1,643	0,2704	11,5	1,3313	0,0313			
		b				1,844	1,775	1,285	1 216	0,559	49,0	57,3	3,5	1070		2,645		0,3741								
	2	a	15,5	0,3438	2,8330	2,186	2,089	1,554	1,457	0,632	45,0	80,1	3,5	873	841	1,345	1,338	0,2460	0,2473								
		b				2,113	2,041	1,481	1,409	0,632	42,0	73,0	3,5	809		1,331		0,2487								
	3	a	26,0	0,5344	2,2986	2,503	2,405	2,003	1,905	0,500	49,0	81,6	3,5	768	695	0,982	1,041	0,2405	0,2342								
		b				2,284	2,066	1,799	1,581	0,485	47,0	63,1	3,5	623		1,101		0,2280								
	4	a	35,0	0,5373	1,7613	2,308	2,028	1,882	1,602	0,426	53,0	58,0	3,5	420	441	0,826	0,975	0,2090	0,2280								
		b				2,066	1,968	1,684	1,586	0,382	50,0	54,1	3,5	463		1,126		0,2470								
	5	a	47,0	0,4300	1,3313	1,361	1,239	0,994	0,872	0,367	44,0	30,2	3,5	207	197	1,481	2,668	0,2665	0,2803								
		b				0,899	0,826	0,546	0,473	0,353	55,0	24,6	3,5	188		3,855		0,2942								

C. Beim Roggen vom Moorboden (aus Kunrau).

I	2	a				1,968	1,891	1,527	1,450	0,441	45,0	48,1	3,5	491		1,195		0,2258								
II	2	a				2,186	2,018	1,725	1,537	0,461	47,0	73,2	3,5	861		1,690		0,2873								
III	2	a				2,138	1,994	1,726	1,582	0,412	43,0	65,7	3,5	721		1,583		0,3173								
IV	2	a				2,138	1,844	1,726	1,432	0,412	41,0	79,2	3,5	625		1,222		0,4177								
V	2	a				1,625	1,578	1,999	1,152	0,426	44,5	46,4	3,5	447		1,727		0,2803								
VI	2	a				2,066	1,775	1,713	1,422	0,353	52,0	72,2	3,5	326		0,997		0,3593								
VII	2	a				1,361	1,234	1,008	0,881	0,353	44,0	29,4	3,5	330		2,483		0,2686								
VIII	2	a				1,891	1,625	1,508	1,224	0,391	48,0	40,7	3,5	448		1,514		0,2182								
IX	2	a				1,531	1,458	1,002	0,929	0,529	49,0	65,2	3,5	855		3,517		0,3255								
X	2	a				1,797	1,728	1,400	1,331	0,397	38,0	39,6	3,5	490		1,580		0,2673								

D. Beim Roggen vom Sandboden (aus Kunrau).

I	2	a				2,138	2,066	1,609	1,537	0,529	46,0	81,8	3,5	1020		1,805		0,2911								
II	2	a				2,162	1,968	1,736	1,542	0,426	56,0	82,8	3,5	860		1,864		0,2983								
III	2	a				1,968	1,844	1,586	1,462	0,382	49,0	52,0	3,5	549		1,527		0,2580								
IV	2	a				1,458	1,286	1,103	0,933	0,353	49,0	33,1	3,5	370		2,410		0,2541								
V	2	a				2,332	2,112	1,773	1,554	0,559	61,0	89,9	3,5	862		1,323		0,2161								
VI	2	a				1,671	1,578	1,230	1,137	0,441	55,0	54,6	3,5	484		1,792		0,2362								
VII	2	a				1,968	1,869	1,483	1,384	0,485	63,0	93,4	3,5	664		1,550		0,2903								
VIII	2	a				1,944	1,728	1,556	1,340	0,388	52,0	52,3	3,5	493		1,344		0,2513								
IX	2	a				2,113	1,915	1,613	1,415	0,500	41,0	56,8	3,5	783		1,627		0,2500								
X	2	a				1,385	1,312	0,973	0,900	0,412	43,0	38,1	3,5	507		3,063		0,2997								

Vorausgesetzt ist, daß die Belastung der Ellipsenaxe β_1 (und β_2) parallel wirkt; von den Unterschieden der Beschaffenheit der Strohsubstanz an den verschiedenen Stellen des Querschnitts ist abgesehen.

Die durchschnittliche Dichtigkeit, mit welcher die Strohsubstanz den Querschnitt erfüllt, kann durch Wägung eines Stückes der Länge l^{mm} und Ausmessung von α_1, β_1, α_2, β_2 in mm bestimmt werden. Wiegt das Stück nämlich m Milligramm, so folgt die Dichte

$$D = \frac{m}{\pi l (\alpha_2 \beta_2 - \alpha_1 \beta_1)}.$$

Was die Messung selbst anlangt, so kamen folgende Punkte in Betracht:

1. Die Länge und das Gewicht des ganzen Internodiums (indem hierzu auch der untere Knoten genommen wurde).

2. Die Hauptaxen der äußeren Begrenzung; diese wurden mit Hilfe eines Zeiß'schen Mikroskops mit Okularmikrometer gemessen, wobei auch die Zehntel-Skalatheile geschätzt wurden (1 mm = 10,29 Scth);

3. Die Festigkeit des Strohes. Dieselbe wurde in folgender Weise bestimmt:

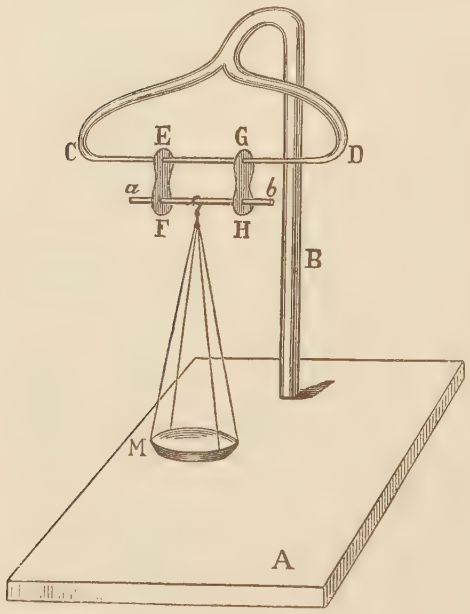

Fig. 3.

Ein, wie die hier angegebene Figur zeigt, umgebogenes eisernes Stativ B trug einen gabelförmigen Fortsatz CD, dessen beide Enden durch einen eisernen Stab verbunden waren. Auf diesem konnten zwei mit kreisrunden Löchern versehene kleine Eisenplatten EF und GH verschoben werden. In die beiden unteren Löcher kam das zu untersuchende Halmstück, dessen Mitte ein Metallschälchen M trug. In dieses wurden so lange Schrotkörner geschüttet, bis ein Knick des Halmes eintrat und das Schälchen auf den Holzfuß des Stativs A aufschlug.

4. Die Dicke der Wände des Strohhalms wurde mit einem Zeiß'schen Mikroskop gemessen und zwar wurden hierzu mit einem scharfen Messer Stücke an den Enden der kurzen und langen Axe des elliptischen Querschnittes herausgeschnitten. (1 mm = 34,0 Skalentheile.) In den vorstehenden Tabellen sind die Resultate dieser Untersuchungen angegeben.

NB. Der Gleichmäßigkeit wegen wurden nur die Halme untersucht, welche 5 Internodien hatten.

Prüfen wir nun näher, wie sich in jedem Internodium die durchschnittlichen Festigkeitsmoduln und Dichten der unteren Theile zu denen der oberen verhalten, so ist zu bemerken, daß bei einigen Internodien und zwar am häufigsten beim ersten nur ein Theil desselben untersucht wurde, entweder aus dem Grunde, daß das Internodium zu kurz war, um zwei Stücke für die Untersuchung zu liefern, oder dasselbe an irgend einem Ende verletzt

war und nicht benutzt werden konnte. Es werden nun zur Ausrechnung des Verhältnisses zwischen den Festigkeitsmoduln und Dichten der unteren und der oberen Theile nur die Internodien betrachtet, bei welchen beide Theile untersucht worden sind.

Tabelle IX.

	Schlanstedter Roggen.		Petkuser Roggen.	
	Unterer Theil	Oberer Theil	Unterer Theil	Oberer Theil
I. Internodium.				
Durchschnittliche Festigkeitsmoduln .	2,198	1,800	1,858	2,109
Die Moduln verhalten sich	122 :	100	87 :	100
Durchschnitts-Dichten	0,3028	0,2928	0,2919	0,3099
Die Dichten verhalten sich	103 :	100	94 :	100
II. Internodium.				
Durchschnittliche Festigkeitsmoduln .	1,312	1,132	1,127	1,423
Die Moduln verhalten sich	115 :	100	79 :	100
Durchschnitts-Dichten	0,2237	0,2157	0,2298	0,2792
Die Dichten verhalten sich	104 :	100	82 :	100
III. Internodium.				
Durchschnittliche Festigkeitsmoduln .	0,801	0,915	0,933	1,174
Die Moduln verhalten sich	88 :	100	79 :	100
Durchschnitts-Dichten	0,1887	0,2718	0,2247	0,2595
Die Dichten verhalten sich	87 :	100	87 :	100
IV. Internodium.				
Durchschnittliche Festigkeitsmoduln .	0,836	1,118	0,868	1,343
Die Moduln verhalten sich	75 :	100	65 :	100
Durchschnitts-Dichten	0,2039	0,2475	0,2097	0,2858
Die Dichten verhalten sich	82 :	100	73 :	100
V. Internodium.				
Durchschnittliche Festigkeitsmoduln .	1,486	3,208	2,108	4,788
Die Moduln verhalten sich	46 :	100	44 :	100
Durchschnitts-Dichten	0,2642	0,3033	0,2675	0,3618
Die Dichten verhalten sich	87 :	100	74 :	100

Im Durchschnitt stellen sich die Festigkeitsmoduln und die Dichten der unteren Theile aller Internodien:

	Festigkeitsmoduln	Dichte
beim Schlanstedter Roggen	1,329	0,2367
beim Petkuser Roggen	1,379	0,2445
und der oberen:		
beim Schlanstedter Roggen	1,635	0,2554
beim Petkuser Roggen	2,167	0,2992

Im Zusammenhang mit diesen Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften der oberen und unteren Theile der Internodien wurden auch vergleichende chemische Analysen gemacht, ich analysirte einerseits die unteren Theile aller Internodien und andererseits die oberen. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in der Tabelle VII (Seite 27) angeführt und zeigen, daß der Aschengehalt und auch der Kieselsäuregehalt in den unteren Theilen der Internodien merklich kleiner ist als in den oberen.

Aus den Festigkeitsmoduln und Dichten der unteren und oberen Theile haben wir (Tabelle IX) die Durchschnittsmoduln und Durchschnittsdichten für jedes ganze Internodium berechnet. Da wo für den oberen Theil der Festigkeitsmodul und die Dichte fehlen, wurden sie aus dem Verhältnisse, das sich in den Internodien, in welchen beide Theile zur Untersuchung kamen, herausgestellt hatte (Tabelle IX), ausgerechnet.

Aus 10 gewonnenen Mittelzahlen wurden die durchschnittlichen Festigkeitsmoduln und Dichten für jeden ganzen Halm ausgerechnet, und aus diesen Zahlen ist die durchschnittliche Festigkeit und Dichte für alle 10 untersuchten Halme:

Tabelle X.

	Durchschnittsfestigkeit	Durchschnittliche Dichte
beim Schlanstedter Roggen . . .	1,408	0,2449
beim Petkuser Roggen	1,809	0,2749

Aus der Tabelle VII können wir auch den durchschnittlichen Asche- und Kieselsäuregehalt für diese beiden Roggensorten ausrechnen.

Tabelle Xa.

Roggensorte	Asche in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Asche
Schlanstedter Roggen	3,48	0,69	19,68
Petkuser Roggen	3,61	0,88	23,96

Ueberhaupt sind also beim Petkuser Roggen Festigkeitsmodul, die Dichte, die Asche und der Kieselsäuregehalt größer als beim Schlanstedter.

Es verhalten sich die Festigkeitsmoduln der unteren Theile, wenn wir die Moduln der oberen = 100 annehmen:

beim Schlanstedter Roggen = 122 : 115 : 88 : 75 : 46,
beim Petkuser Roggen = 87 : 79 : 79 : 65 : 44.

Es sind also in allen Internodien die Festigkeitsmoduln der unteren Theile kleiner, als die der oberen und dazu vermindert sich das Verhältniß der Festigkeitsmoduln der unteren Theile zu denen der oberen Theile von unten nach oben, so daß beim 5. Internodium der Festigkeitsmodul des unteren Theils nur halb so groß wie der des oberen ist. Eine Abweichung von allen übrigen durchschnittlichen Moduln stellen nur die des ersten und des zweiten Internodiums beim Schlanstedter Roggen dar; es könnte aber dadurch erklärt

werden, daß diese zwei Zahlen Mittel aus nur wenigen Moduln sind, da hier aus oben angeführten Gründen nur bei drei Halmen von den ersten Internodien und bei sechs Halmen von den zweiten Internodien zwei Stücke, das eine vom unteren, das andere vom oberen Theile zur Untersuchung benutzt werden konnten; diese Abweichungen sind also vielleicht als zufällig zu betrachten.

Wie wir aus Tabelle II sehen, verhalten sich die Dichten der unteren Theile, wenn wir die der oberen auch gleich 100 annehmen:

beim Schlanstedter Roggen = 103 : 104 : 87 : 82 : 87,
beim Petkuser Roggen = 94 : 82 : 87 : 73 : 74.

Wir sehen also, daß auch in Bezug auf ihre Dichten das erste und das zweite Internodium beim Schlanstedter Roggen abweichen, bei allen übrigen ist stets die Dichte beim unteren Theile des Internodiums kleiner, als die beim oberen, dieses Verhältniß aber schwankt fast unbeträchtlich und stellt sich im Durchschnitt ungefähr wie 4 : 5, daraus folgt, daß der so starke Unterschied zwischen dem Festigkeitsmodul des unteren Theils und dem des oberen bei den fünften Internodien nicht durch die Abnahme an Dichte verursacht werden konnte, obwohl die Dichten doch in einem gewissen Zusammenhange mit den Festigkeitsmoduln zu sein scheinen, da sie ebenfalls wie die Festigkeitsmoduln stets bei den unteren Theilen kleiner sind als bei den oberen Theilen desselben Internodiums.

Wenn wir uns die Festigkeitsmoduln für alle Internodien näher ansehen (Tabelle IX), so fällt uns vor allem in die Augen, daß das dritte Internodium fast überall dasjenige ist, welches die kleinste Festigkeit besitzt. Noch deutlicher stellen sich die Unterschiede zwischen den Internodien aus den Durchschnittszahlen, wobei nur die Internodien, von welchen beide Theile, der untere und der obere, untersucht worden sind, zur Rechnung gezogen wurden. Der Uebersichtlichkeit wegen stellen wir hier die durchschnittliche Länge, Gewicht, Festigkeitsmodul, Dichte, Aschen- und Kieselsäuregehalt von jedem Internodium zusammen.

Tabelle XI.

		Länge	Gewicht	Das zu tragende Gewicht	Festigkeitsmodul	Dichte	Asche in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Trockensubstanz	SiO_2 in % der Asche
Schlanstedter Roggen Internodium	I	8,05	0,2657	5,0500	1,999	0,2978	3,39	0,60	16,22
	II	17,12	0,5107	4,5392	1,222	0,2197	3,49	0,58	16,55
	III	27,95	0,7578	3,7814	0,858	0,2032	3,29	0,59	18,00
	IV	41,25	0,8794	2,9020	0,977	0,2257	3,26	0,52	15,76
	V	52,35	0,7086	2,1933	2,347	0,2837	3,84	0,94	26,32
Petkuser Roggen Internodium	I	11,04	0,2648	4,1528	1,984	0,3009	3,36	0,76	22,54
	II	20,40	0,4823	3,6705	1,275	0,2544	3,44	0,66	20,68
	III	27,80	0,6113	3,0592	1,053	0,2446	3,43	0,69	20,05
	IV	43,05	0,7297	2,3295	1,106	0,2477	3,34	0,65	18,78
	V	53,25	0,5483	1,7812	3,448	0,3146	4,44	0,98	26,93

Aus der oben angeführten Tabelle stellt sich klar heraus, daß die Festigkeitsmoduln, die Dichten und die Kieselsäuremenge (in % der Trockensubstanz) bei dem fünften und bei dem ersten Internodium größer als bei den mittleren sind. Das fünfte Internodium besitzt die größte Festigkeit, den größten Aschen- und Kieselsäuregehalt; die Dichte ist beim Petkuser Roggen auch die größte im fünften Internodium, beim Schlanstedter Roggen scheint sie im ersten Internodium größer zu sein als im fünften. Die hierauf folgende Tabelle zeigt die Ordnung der Internodien nach der Größe ihrer Festigkeit, Dichte und des Aschen- und Kieselsäuregehalts.

Tabelle XII.

	Nach der Festigkeit.	Nach der Dichte.	Nach dem Aschengehalt.	Nach der Kieselsäuremenge (in % der Trockensubstanz).
Schlanstedter . .	V. I. II. IV. III.	I. V. IV. II. III.	V. II. I. III. IV.	V. I. III. II. IV.
Petkuser	V. I. II. IV. III.	V. I. II. IV. III.	V. II. III. I. IV.	V. I. III. II. IV.

Diese Tabelle zeigt uns, daß in Bezug auf die Festigkeit, Dichte, Aschen- und Kieselsäuregehalt sich die einzelnen Internodien mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit ordnen, und daß diese Ordnung der Internodien nach ihrer Festigkeit und nach ihrer Kieselsäuremenge beim Schlanstedter Roggen ganz identisch ist mit der beim Petkuser Roggen. Was die Dichte anbetrifft, so ist sie in beiden Roggensorten bei dem ersten und fünften Internodium die größte, beim dritten die kleinste. An Asche sind die fünften Internodien die reichsten, dann kommen die zweiten; die vierten scheinen am wenigsten Asche zu haben.

Es ist also eine auffallende Uebereinstimmung in den Verhältnissen dieser Eigenschaften der einzelnen Internodien bei beiden Roggensorten, wenigstens sind die Maxima und Minima der Festigkeit, der Dichte, des Aschen- und Kieselsäuregehalts bei beiden Sorten in denselben Internodien.

Was das Verhältniß zwischen der Festigkeit einerseits und den übrigen Eigenschaften des Strohes andererseits anbetrifft, so schwanken die Dichten und die Aschenmengen in den einzelnen Internodien bei weitem nicht so stark wie die Festigkeitsmoduln und der Kieselsäuregehalt.

Tabelle XIII.

Das Verhältniß zwischen dem größten und dem kleinsten Festigkeitsmodul ist

bei dem Schlanstedter Roggen = 100 : 45

„ „ Petkuser „ = 100 : 31.

In Bezug auf die Kieselsäuremenge stellen sich die Maxima zu den Minima:

bei dem Schlanstedter Roggen = 100 : 55

„ „ Petkuser „ = 100 : 65.

Das Verhältniß ist für die Dichten:

bei dem Schlanstedter Roggen = 100 : 66

„ „ Petkuser „ = 100 : 83

und für die Aschenmengen:

bei dem Schlanstedter Roggen = 100 : 85

„ „ Petkuser „ = 100 : 75.

Aus den vergleichenden Untersuchungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Roggens vom Sand- und des vom Moorboden können wir folgende Schlüsse ziehen: Der Festigkeitsmodul ist beim Roggen vom Moorboden = 1,750, beim Roggen vom Sande aber = 1,830, also größer als bei dem ersteren. Die Durchschnittsdichte ist beim Roggen vom Moorboden = 0,2967, beim Roggen vom Sande = 0,2645, also kleiner als bei dem ersteren. Wenn wir uns die chemischen Analysen dieser zwei Sorten ansehen (Tabelle VII), so können wir uns überzeugen, daß weder die Dichte, noch auch der Aschengehalt für die Festigkeit des Strohes maßgebend ist, da gerade in dem Roggen vom Moorboden, dessen Stroh eine kleinere Festigkeit besitzt, mehr Asche gefunden wurde: die Asche macht in diesem Roggen = 4,71 % und in dem Roggen vom Sandboden nur 2,94 % der Trockensubstanz aus.

Im Gegensatze dazu ist der Kieselsäuregehalt in dem Roggen vom Sandboden viel größer und beträgt: 0,99 % der Trockensubstanz und 33,65 % der Asche, während in dem Roggen vom Moorboden die Kieselsäure nur 0,63 % der Trockensubstanz und 13,45 % der Asche ausmacht.

Hier sind wir also geneigt, den größeren Kieselsäuregehalt als Ursache der größeren Festigkeit zu betrachten.

Wir fassen noch einmal die Endergebnisse dieser Untersuchungen kurz zusammen.

1. Zusammenhang zwischen Festigkeit und Aschengehalt. In den unteren Theilen der Internodien ist die Festigkeit und auch der Aschengehalt kleiner als in den oberen Theilen (Tabelle VII und IX), ebenso ist auch der Petkuser Roggen, dessen Festigkeitsmodul größer ist als der des Schlanstedter, auch an Asche reicher (Tabelle IX). Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Festigkeitsmoduln für die einzelnen Internodien hat sich herausgestellt, daß das fünfte Internodium den größeren Aschengehalt und auch die größte Festigkeit besitzt.

Das sind die Fälle, wo eine gewisse Uebereinstimmung zwischen der Festigkeit und dem Aschengehalte der Strohhalme zu bemerken ist, aber in den übrigen Internodien sehen wir diesen Zusammenhang nicht: der kleinste Aschengehalt ist bei beiden Roggensorten in den vierten Internodien, der kleinste Festigkeitsmodul aber ist bei dem Schlanstedter ebenso wie auch bei dem Petkuser in dem dritten Internodium konstatirt worden. Nach der Festigkeit nimmt das erste Internodium (Tabelle XI) den zweiten Platz in den beiden Roggensorten ein, d. h. es ist nach dem fünften das widerstandsfähigste, sein Aschengehalt aber ist beim Schlanstedter Roggen kleiner als der des fünften und zweiten, beim Petkuser als der des fünften, zweiten und dritten Internodium. Am klarsten zeigen uns die Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften und die chemischen Analysen des Roggens vom Sand- und vom Moorboden (Tabelle VIII C D und VII), daß die Sorte sich widerstandsfähiger herausgestellt hat, welche viel weniger Asche enthält d. h. daß der Aschengehalt als solcher nicht maßgebend für die Festigkeit ist.

2. Einen Zusammenhang zwischen Dichte und Festigkeit haben wir bei den vergleichenden Untersuchungen der unteren und der oberen Theile der Internodien gesehen. Die

oberen Theile haben sich in allen Internodien widerstandsfähiger gezeigt (Tabelle IX) und ihre Dichte ist auch größer als die der unteren Theile. Wir haben aber hierbei auch zugleich bemerkt, daß bei dem fünften Internodium der Unterschied der Festigkeitsmoduln des unteren und oberen Theiles sehr groß ist bei beiden Roggensorten, während das Verhältniß zwischen den Dichten der unteren und der oberen Theile bei dem fünften Internodium ungefähr derselbe ist, wie bei den übrigen Internodien; es stellt sich annähernd wie 4 : 5. Hier ist also die viel größere Festigkeit des oberen Theiles des Internodiums nicht durch die Dichte verursacht. Ebenso hat sich auch der Roggen vom Sandboden, obgleich seine Dichte kleiner ist, widerstandsfähiger als der vom Moorboden gezeigt (Tabelle VIII C und D).

Im Uebrigen läßt sich doch ein gewisser Zusammenhang zwischen Festigkeit und Dichte bemerken; so hat sich überhaupt der Petkuser Roggen als widerstandsfähiger gezeigt (Tabelle IV) und auch seine Dichte ist größer als die des Schlanstedter Roggens.

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Dichten und Festigkeitsmoduln haben wir gesehen, daß die größte Festigkeit und auch die größte Dichte die fünften und die ersten Internodien besitzen und daß das Minimum der Festigkeit bei den dritten Internodien, also dort, wo auch die Dichte am kleinsten ist, liegt.

3. Einen Zusammenhang und eine gewisse Uebereinstimmung zwischen der Festigkeit und dem Kieselsäuregehalte haben diese Untersuchungen überall nachgewiesen.

So kann die größere Festigkeit des oberen Theiles des fünften Internodiums (Tabelle IX) nur durch seinen viel größeren Gehalt an Kieselsäure (Tabelle VII) erklärt werden (da die Dichte nicht wesentlich größer ist). Der Kieselsäuregehalt und die Festigkeitsmoduln sind außerdem auch in den oberen Theilen der übrigen Internodien größer als in den unteren (Tabelle IX), im Petkuser Roggen (Tabelle X) überhaupt größer als im Schlanstedter, in dem fünften und in dem ersten Internodium größer als in den drei übrigen. Nur das Minimum an Kieselsäuregehalt entspricht nicht dem Minimum der Festigkeit, die letztere ist bei den dritten Internodien beider untersuchten Sorten (Tabelle XII) die kleinste, obwohl diese Internodien nach ihrem Kieselsäuregehalte gleich nach den fünften und ersten Internodien zu stehen scheinen. Hierbei ist zu bemerken, daß in dem Kieselsäuregehalte der zweiten, dritten und vierten Internodien kein großer Unterschied vorhanden ist und daß zur Untersuchung der physikalischen Eigenschaften sechs-, bei den chemischen Analysen fünfgliederige Halme genommen wurden, und daß das dritte Internodium der fünfgliederigen Halme morphologisch und physiologisch dem vierten Internodium der sechsgliederigen zu entsprechen scheint. Am klarsten stellt sich der Zusammenhang zwischen dem Kieselsäuregehalte und der Festigkeit bei den vergleichenden Analysen des Sand- und Moorbodenroggens. Die Festigkeit ist beim Roggen vom Sandboden größer; dieser Roggen ist auch viel kieselsäurereicher (Tabelle VII), während die Dichte und der Aschengehalt im Gegentheil bei ihm kleiner sind. Wenn wir also in Betracht nehmen, daß die Festigkeitsbestimmungen bei allen Materialien, selbst bei Metallen, mit großen Schwierigkeiten verknüpft sind und nie, selbst bei genauer Innehaltung der Vorsichtsmaßregeln, völlig übereinstimmende Resultate liefern können, da stets die Bestimmung der Querschnittfläche etwas unsicher ist und die Stärke der Belastung, bei welcher der Bruch

eintrat, auch von der Zeit, welche die Belastung dauert, abhängig ist, ganz abgesehen davon, daß ich bei meinen chemischen Analysen mit ziemlich kleinen Kieselsäuremengen zu thun gehabt habe, so scheinen mir doch die Durchschnittsresultate dieser Untersuchungen eine genügend klare Antwort auf die Frage nach den Ursachen der Festigkeit der Strohhalme geliefert zu haben.

Es liegen uns keine vergleichenden Untersuchungen der anatomischen und der micellaren Struktur vor, ich wäre aber geneigt, den direkten Einfluß der micellaren Struktur auf die Festigkeitseigenschaften des Strohs zu bezweifeln, da diese Struktur von der Verholzung abhängig ist; daß aber die letztere unmittelbar nicht beträchtlich die Widerstandsfähigkeit vergrößern kann, ist aus den vorliegenden Untersuchungen klar geworden, da die am stärksten verholzten ersten Internodien doch eine weit kleinere Festigkeit als die oberen fünften Internodien besitzen.

Ich möchte mich daher berechtigt halten, nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen und Analysen wohl auch der Dichte und vielleicht auch theilweise dem Aschengehalt überhaupt einen gewissen Einfluß auf die Festigkeit zuzuschreiben; den Einfluß der Kieselsäure auf die Widerstandsfähigkeit des Strohes aber als viel wichtiger und größer anzunehmen, da sie überall dort in größeren Mengen sich gezeigt hat, wo auch der Festigkeitsmodul größer war und da sie in einigen Fällen bei kleinerer Dichte und geringerem Aschengehalte doch allein im Stande zu sein scheint, größere Widerstandsfähigkeit zu verursachen.

Es bleibt uns noch übrig, einige Worte über den praktischen Werth dieser Untersuchungen hinzuzufügen.

Wenn wir annehmen, daß die Beeinflussung der Widerstandsfähigkeit und Festigkeit des Strohes durch seinen Kieselsäuregehalt genügend hier bewiesen wurde, so werden wir nicht Mangel an Licht (Ludwig Koch, Nowacki) als solchen, sondern die Verminderung der Transpiration bei den Pflanzen als Ursache des Lagerns des Getreides annehmen können; die Verdunstung ist in hohem Grade, wie bekannt, von der Intensität und Quantität des Lichtes abhängig, wird aber die Menge des durch die Pflanzen verdunsteten Wassers vermindert, so nimmt auch die Aufnahmefähigkeit der Pflanzen in Bezug auf die Nährstoffe aus dem Boden ab, die Pflanzen werden an Aschenbestandtheilen und speziell die Gramineen hauptsächlich an Kieselsäure,*) welche bei ihnen beinahe die Hälfte der Asche ausmacht, ärmer. So wird man darnach das Lagern des Getreides bei zu dichtem Stande durch die verminderte Transpiration erklären können.

Auf den stark mit Salpeter gedüngten Feldern tritt auch eine Beeinträchtigung der Verdunstung bei den Pflanzen ein. Es haben die genauen Untersuchungen von Julius Sachs bewiesen,**) daß ohne irgend eine Ausnahme die Transpiration, mithin auch die Wasseraufnahme der Wurzeln durch die Salpeterdüngung vermindert und die Retardation um so stärker wird, also der Einfluß des Salpeters um so merklicher, je geringer überhaupt die

*) Dr. Friedrich Georg Kohl: Anatomisch-physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. S. 221.

**) Julius Sachs: Pflanzenphysiologie über die Transpiration. Bd. I. S. 420.

Ausdünstung ist. Alle Faktoren also, welche eine Herabsetzung der Verdunstung bewirken, und in erster Reihe der Mangel an Licht, welcher auf fetten Böden und bei üppiger Vegetation stets eintritt, werden dadurch das Getreide zum Lagern geneigt machen, daß sie in den Pflanzen den Kieselsäuregehalt nicht unbeträchtlich vermindern.

Auf den so stickstoffreichen Moordämmen von Kunrau lagert das Getreide fast jedes Jahr, hier ist außerdem die Transpiration der Pflanzen auch durch starke Niederschläge beeinträchtigt. Ich habe vergleichende Analysen ausgeführt vom Kunrauer Hafer und von einem nicht gelagerten Anderbecker Hafer, der in der Nähe von Halle auf einem sandigen Lehmboden gewachsen war; dazu bekam ich noch von Herrn Pflug aus Brody zwei Gerstesorten, eine vom Höheboden, auf dem das Lagern gar nicht eintritt, und vom Moorboden, auf dem das Getreide stets lagert. Für diese liebenswürdige Sendung spreche ich dem Herrn Pflug noch einmal meinen verbindlichsten Dank aus.

Ich führe nachstehend die Resultate dieser vergleichenden Analysen an:

Tabelle XIII.

	Asche in % der Trockensubstanz	Kieselsäure in % der Trockensubstanz	Kieselsäure in % der Asche
Internodien vom Anderbecker Hafer	6,83	1,20	17,67
„ „ gelagerten Hafer aus Kunrau . . .	4,96	0,77	15,85
Knoten vom nicht gelagerten Anderbecker Hafer . . .	8,16	0,47	5,80
„ „ gelagerten Hafer aus Kunrau	6,2	0,32	4,39
Blätter „ Anderbecker Hafer	8,31	3,91	46,46
„ „ Kunrauer Hafer	4,04	1,82	46,64
Internodien von der Gerste vom Moorboden	3,79	0,56	15,00
„ „ „ „ „ Höheboden	2,35	0,66	28,20
Blätter von der Gerste vom Moorboden	5,94	1,74	30,15
„ „ „ „ „ Höheboden	4,86	2,68	55,47

Es wurden Proben von mehreren Stellen des Feldes genommen und aus ihren Analysen die oben angeführten Durchschnittszahlen berechnet. Wir ersehen aus ihnen, daß die beiden gelagerten Getreidesorten viel weniger an Kieselsäure enthielten; an Asche zeigt die gelagerte Gerste mehr als die nicht gelagerte.

Es wäre darnach vielleicht vortheilhaft und lohnend, auf fetten und humösen Böden den Mangel an Kieselsäure, welche, wie meine Wasserkulturversuche es gezeigt haben, nicht ohne Bedeutung für die Entstehung der organischen Verbindungen und für die Aufnahme anderer Mineralstoffe zu sein scheint, welche auch nach den Resultaten der E. Wolf'schen

Versuche*) eine vollkommene Ausbildung der Körner, und nach meinen Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften des Strohes eine größere Festigkeit der Halme herbeiführt, mit Kieselsäuredüngung entgegenzukommen. Dies wird aber nur dann möglich sein, wenn es gelingt, eine passende Form oder Verbindung zu ermitteln, in welcher die Kieselsäure unter gewissen Verhältnissen in der Praxis Anwendung finden kann.

*) E. Wolf und Kreuzhage: Bedeutung der Kieselsäure für die Entwickelung der Haferpflanze. Landw. Versuchsstation. Band XXX. 1884. S. 161.

Herrn Geheimrath Professor Dr. Julius Kühn, welcher mir während der ganzen Arbeit mit seinen, mir so werthvollen Rathschlägen bereitwilligst beigestanden hat, erlaube ich mir an dieser Stelle nochmals meinen innigsten Dank auszusprechen.

VITA.

Ego, *Vitoldus de Swięcicki*, natus sum IX Mai in urbe Minsk anno MDCCCLXXIII. Maturitatis testimonium anno MDCCCLXXXIX adeptus, in academia Varsoviensi Imperatoria per quadriennium, interfui scholis virorum illustrissimorum: *Potylicyn, Vagner, Zilov, Nosonov, Mitrofanov, Lagori, Amalicki, Fischeri de Valdheim.* Candidati dignitate ornatus Halas migravi, qua in universitato per quinquies sex menses scholas et oeconomicas et philosophicas frequentavi virorum illustrissimorum: *Kühn, Pütz, Maercker, Conrad, Diehl, Dorn, Albert, Cluss, Haym, Vaihinger.* Omnibus, inprimis *Kühn* et *Dorn*, viris praeclarissimis maxime de me meritis animum semper servabo gratissimum.

Druck von Johannes Päßler, Dresden-N.